

О.М. ПЛЯЦ

32.85

П-40

А 839515

**СПРАВОЧНИК
ПО
ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫМ,
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ
ПРИБОРАМ
И ИНТЕГРАЛЬНЫМ
СХЕМАМ**



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ВЫШЕЙШАЯ ШКОЛА“

О. М. ПЛЯЦ

СПРАВОЧНИК
ПО ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫМ,
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ
ПРИБОРАМ
И ИНТЕГРАЛЬНЫМ
СХЕМАМ

Минск
«Вышэйшая школа»
1976

Пляц О. М.

П40 Справочник по электровакуумным, полупроводниковым приборам и интегральным схемам. Минск, «Вышэйш. школа», 1976.

480 с. с ил.

В справочнике приведены основные сведения о многих современных электронных приборах широкого применения: электровакуумных электронных и ионных; полупроводниковых диодах (выпрямительных, импульсных, туннельных, варикапов и др.); транзисторах (биполярных и полевых); электровакуумных и полупроводниковых фотоприборах; интегральных микросхемах.

Справочник рассчитан на широкий круг инженеров и техников, занимающихся разработкой радиоэлектронной аппаратуры, студентов вузов и техникумов. Может быть полезен учащимся ПТУ, ТУ, радиолюбителям.— Библиогр.: с. 466.

П $\frac{30407-162}{М304(05)-76}$ 70—76

БП2. 15

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть первая

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

1. Общие сведения	
1.1. Типы и определения ламп. Особенности конструкции	7
1.2. Основные принципы работы ламп	10
1.3. Основные параметры и характеристики ламп	11
1.4 Система обозначений и классификация электронных ламп	16
2. Типы, цоколевка и параметры диодов и усилительных ламп	
2.1. Диоды	22
2.2. Триоды	22
2.3. Лучевые тетроды и пентоды	23
2.4. Комбинированные лампы	31
2.5. Лампы для широкополосного усиления	35
2.6. Специальные лампы	35
3. Генераторные, модуляторные и регулирующие лампы	
3.1. Система обозначений и классификация ламп	42
3.2. Основные параметры и характеристики ламп	43

Часть вторая

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПРИБОРЫ

4. Общие сведения	
4.1. Типы и определения	48
4.2. Система обозначений	55
5. Параметры и цоколевка	
5.1. Осциллографические трубки	57
5.2. Приемные телевизионные трубки (кинескопы)	62

Часть третья

ИОННЫЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

6. Общие сведения	
6.1. Классификация и система условных обозначений	66
6.2. Определения электрических параметров ионных приборов	т. 10

щего разряда	69
6.3. Тиратроны тлеющего разряда.	70
7. Стабилитроны и индикаторы тлеющего разряда	
7.1. Стабилитроны	73
7.2. Знаковые и линейные индикаторы	75
7.3. Декатроны	77
7.4. Сигнальные индикаторы тлеющего разряда	83
7.5. Сигнальные лампы накаливания	92
Часть четвертая	
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ	
8. Общие сведения	
8.1. Основные понятия физики полупроводников	93
8.2. Электронно-дырочный переход	98
8.3. Определения терминов основных физических процессов и электрических параметров полупроводниковых диодов	101
8.4. Классификация и система условных обозначений полупроводниковых диодов, столбов, селеновых элементов и выпрямителей	107
9. Параметры выпрямительных диодов, столбов и блоков малой и средней мощности	
9.1. Диоды	120
9.2. Столбы и блоки	122
10. Выпрямительные диоды большой мощности (вентили)	
10.1. Устройство и определение основных электрических параметров	149
10.2. Условные обозначения и классификация вентилях	152
10.3. Электрические параметры	156
11. Универсальные и импульсные полупроводниковые диоды	
11.1. Общие сведения	162
11.2. Электрические параметры	164
12. Туннельные и сверхвысокочастотные диоды	
12.1. Туннельные и обращенные диоды	164
12.2. Сверхвысокочастотные диоды	177
13. Стабилитроны, стабисторы и варикапы	
13.1. Принцип работы и определения основных электрических параметров стабилитронов и стабисторов	180
13.2. Классификация и обозначения стабилитронов и стабисторов	195
13.3. Электрические параметры стабилитронов и стабисторов	204
13.4. Варикапы	204

Часть пятая
ТРАНЗИСТОРЫ

14. Биполярные транзисторы	
14.1. Устройство и принцип действия	208
14.2. Типы и структуры транзисторов	212
14.3. Определения терминов основных электрических параметров	215
14.4. Система условных обозначений	222

14.5. Электрические параметры	225
14.6. Лавинные транзисторы	225
14.7. Однопереходные и двухэмиттерные транзисторы	261
14.8. Электрические параметры транзисторов чехословацкого производства и их отечественные аналоги	264
14.9. Транзисторные элементы серии «Логика-Т»	264
15. Полевые транзисторы	
15.1. Устройство и принцип действия	275
15.2. Определения терминов основных электрических параметров	296
15.3. Условные обозначения	297
15.4. Электрические параметры	300

Часть шестая

ТИРИСТОРЫ

16. Общие сведения	
16.1. Устройство и принцип действия	306
16.2. Система условных обозначений	308
16.3. Термины и определения электрических параметров тиристорной малой и средней мощности	314
16.4. Характеристики и определения электрических параметров силовых тиристорных	321
17. Электрические параметры тиристорных	
17.1. Диодные тиристоры	323
17.2. Триодные тиристоры	323
17.3. Запираемые триодные тиристоры	339
17.4. Высокочастотные тиристоры	344
17.5. Симметричные тиристоры	346
17.6. Гибридные пороговые тиристоры	355

Часть седьмая

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

18. Общие сведения	
18.1. Фотоэлектрический эффект	356
18.2. Классификация и условные обозначения	358
19. Электровакуумные фотоприборы	
19.1. Термины и определения основных параметров фотоумножителей и фотоэлементов	362
19.2. Фотоэлементы	364
19.3. Фотоэлектронные умножители	366
20. Полупроводниковые фотоприборы	
20.1. Термины и определения некоторых фотоэлектрических параметров и характеристик	375
20.2. Фоторезисторы	378
20.3. Фотодиоды	379

20.4. Фототранзисторы	382
20.5. Фототиристоры	383
20.6. Светодиоды	384
20.7. Оптоэлектронные приборы	386

Часть восьмая

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

21. Общие сведения	
21.1. Классификация и система условных обозначений	394
21.2. Типы корпусов	399
21.3. Термины, определения и буквенные обозначения параметров интегральных микросхем	402
22. Электрические параметры	
22.1. Цифровые интегральные микросхемы	409
22.2. Аналоговые интегральные микросхемы	409
Л и т е р а т у р а	466
П р е д м е т н ы й у к а з а т е л ь	467
Указатель электронных приборов, имеющих в справочнике	472

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Типы и определения ламп. Особенности конструкции

Электронной лампой называют электронный электровакуумный прибор¹, предназначенный для различного рода преобразований электрических величин (ГОСТ 13820—68). В зависимости от назначения различают генераторные, усилительные, выпрямительные, измерительные и другие электронные лампы, а также лампы импульсного режима, непрерывного режима и др.

В зависимости от диапазона частот, в котором могут работать электронные лампы, различают низкочастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные электронные лампы.

Электронная лампа состоит из баллона и электродов. Баллон может быть выполнен из стекла, металла или керамики. Форма баллонов у большинства ламп цилиндрическая с диаметром от нескольких миллиметров (лампы сверхминиатюрной конструкции) до десятков и сотен миллиметров (генераторные лампы большой мощности). Большая часть ламп малой мощности имеет миниатюрную (пальчиковую) конструкцию с диаметром баллона 19 и 22,5 мм. Для предохранения электродов от окисления, а также для обеспечения сравнительно беспрепятственного перемещения электронов внутри баллона создается высокий вакуум ($10^{-5} \dots 10^{-7}$ Т_{ор}).

Простейшая электронная лампа диод имеет два электрода — катод и анод.

Катодом электровакуумного прибора называют электрод, основным назначением которого является испускание электронов. Катод имеет цилиндрическую, плоскую или сферическую активную поверхность.

Основой получения электронов в лампах является термоэлектронная эмиссия катода. Катод, действие которого основано на явлении термоэлектронной эмиссии, называют термоэлектронным катодом (термокатодом). Разогрев катода осуществляется электрическим током. По способу подогрева различают катоды прямого и косвенного накала. *Катодом прямого накала* называют термоэлектронный катод, который нагревается непосредственно протекающим по нему током. Катоды прямого накала изготовляют

¹ Электронным прибором называют прибор, в котором проводимость осуществляется главным образом посредством электронов, движущихся через вакуум, газ или полупроводник.

ся обычно из металлических проволок и лент, поверхность которых либо сама эмиттирует электроны, либо содержит активаторы.

Катодом косвенного накала называют термоэлектронный катод, который нагревается от подогревателя.

Поверхность катода покрывается специальным составом, содержащим окислы бария, кальция и стронция. Это способствует большой электронной эмиссии катода при относительно невысокой его температуре ($600...700^{\circ}\text{C}$) и, следовательно, малой затрате мощности на его разогрев.

Анодом электровакуумного прибора называют электрод, основным назначением которого является прием потока электронов. В большинстве случаев аноды имеют цилиндрическую или прямоугольную форму. Аноды ламп малой мощности работают при естественном охлаждении, для их изготовления применяют обычно никель. Такие аноды допускают температуру до 1050°K . Аноды ламп средней мощности изготавливают чаще всего из молибдена (1400°K) и тантала (1600°K). Графитовые аноды применяются в генераторных лампах средней мощности. Лампы с воздушным или жидкостным принудительным охлаждением имеют медные аноды.

Лампы более сложной конструкции, помимо катода и анода, содержат сетки. *Сеткой* лампы называют электрод, расположенный в промежутке между катодом и анодом. В зависимости от выполняемой функции различают управляющую, экранирующую и защитную сетки. Электронная лампа, имеющая три электрода — катод, анод и сетку, называется *триодом*. Электронную лампу с общим потоком электронов, имеющую катод, анод и более одной сетки, называют *многоэлектродной электронной лампой (многоэлектродной лампой)*. Многоэлектродную лампу, имеющую катод, анод и две сетки, называют *тетродом*. Тетрод, в котором в результате применения электродов специальной конструкции достигается концентрация потока электронов в отдельные пучки лучей, называют *лучевым тетродом*. Многоэлектродную лампу, имеющую три сетки, называют *пентодом*, четыре сетки — *гексодом*, пять сеток — *гептодом*, шесть сеток — *октодом*.

Электронную лампу, содержащую две или более систем электродов с независимыми потоками электронов, называют *комбинированной электронной лампой (комбинированной лампой)*. Различают следующие типы комбинированных электронных ламп: двойной диод, двойной триод, двойной тетрод, двойной диод-триод, диод-тетрод, диод-пентод, двойной диод-пентод, триод-пентод, двойной лучевой тетрод и т. п. Электронную лампу, содержащую люминесцирующий экран, яркость или площадь свечения которого управляются внешним сигналом, называют *электронносветовым индикатором*. Многоэлектродную лампу, имеющую дополнительную сетку с положительным потенциалом, расположенную между катодом и управляющей сеткой, называют *лампой с катодной сеткой*. Электронную лампу с конструкцией сетки, обеспечивающей значительное изменение крутизны в рабочем участке анодно-сеточной характеристики, называют *электронной лампой переменной кру-*

тизны. Электронную лампу, в которой поток первичных электронов умножается посредством вторичной электронной эмиссии, называют *электронной лампой с вторичной эмиссией*.

С помощью сеток в междуэлектродном пространстве лампы формируется электрическое поле, используемое для управления потоком электронов, испускаемых катодом. С помощью электрического поля управляющей сетки осуществляется изменение плотности электронного потока, движущегося к аноду. *Экранирующие сетки* выполняют роль электростатических экранов, предназначенных для ослабления взаимного влияния электрических полей различных электродов лампы. *Специальные сетки и экраны* служат для регулирования потока электронов в определенном направлении.

Сетки усилительных электронных ламп выполняются из никеля и молибдена в виде проволочной спирали с цилиндрическим, овальным или плоским поперечным сечением.

Конструкция и материал сеток генераторных ламп выбираются в зависимости от рассеиваемой на них мощности, вида катода в лампе и температуры остальных электродов. В генераторных лампах мощностью на аноде до 100...150 Вт с оксидным катодом применяются обычные молибденовые спиральные сетки. Для охлаждения сеток генераторных ламп широко применяют радиаторы. Для предупреждения отравления катода окислами молибдена на витки сеток наносят защитное покрытие золотом, которое одновременно снижает ток термоэмиссии с сеток. В лампах большой и средней мощности, выделяемой на сетках, последние покрывают платиной или карбидом вольфрама.

Большинство сеток генераторных ламп имеет *цилиндрическую конструкцию*. Наиболее распространенной является спиральная сетка на траверсах, витки которой скрепляются с траверсами либо сваркой либо привязкой.

Помимо спиральных сеток, применяют также стержневые сетки, образованные прутками, параллельными катоду и закрепленными в торцовые кольца, или же выполненные из отрезков танталовых лепт, приваренных к танталовым кольцам. В импульсных лампах средней мощности иногда применяют комбинацию спиральной сетки со стержневой.

Поверхность молибденовых сеток генераторных ламп обычно покрывают цирконием. Последний выполняет роль газопоглотителя и увеличивает коэффициент излучения поверхности сеток. В лампах с танталовыми сетками поглотителем является сам тантал. Экранирующие сетки ламп средней мощности иногда изготавливают из полотна, сплетенного из молибденовой или вольфрамовой проволоки и свернутого в цилиндр.

Электроды внутри баллона размещены обычно в вертикальном положении. В нижней части баллона сделаны выводы электродов — *штырьки*. Число штырьков в зависимости от типа лампы может быть различным, в большинстве случаев — семь, девять. Выводы электродов лампы объединяют в единую конструктивную

систему — *цоколь*. В большинстве современных ламп выводы электродов вварены в дно баллона. Некоторые типы ламп имеют вывод анода или сетки в верхней части баллона или сбоку его.

1.2. Основные принципы работы ламп

Работа электронных ламп основана на движении электронов в вакууме под воздействием электрических полей, создаваемых потенциалами электродов. Движение электронов в электрическом поле подчиняется законам электронной оптики, изучающей эти движения. Известно, что если электрон движется вдоль сил однородного электрического поля, то его кинетическая энергия уменьшается, т. е. он совершает равнозамедленное движение. Если же электрон движется против сил этого поля, его кинетическая энергия увеличивается и он совершает равноускоренное движение. Электрон будет двигаться по параболе, если он входит в электрическое поле под некоторым углом к вектору напряженности этого поля.

В электронной лампе осуществляется управление потоком электронов и, следовательно, током, протекающим через вакуумный промежуток между анодом и катодом. Такое управление может быть осуществлено как изменением числа электронов в токе, так и изменением скорости и направления их движения. В соответствии с ГОСТ 20412—75 электронно-управляющей лампой называют электровакуумный прибор, работа которого основана на управлении током ограниченным пространственным зарядом с помощью потенциалов электродов.

Для электронных ламп обычно считают потенциал катода равным нулю, а потенциалы всех остальных электродов отсчитывают относительно этого нулевого уровня. В этом случае разность потенциалов между каким-либо электродом и катодом, называемая *напряжением электрода*, будет численно равна его потенциалу.

Если подогреть катод, то он начнет испускать электроны, которые будут заполнять междуэлектродное пространство лампы, образуя *электронное облако* — отрицательный пространственный (объемный) заряд. Этот заряд создает электрическое поле, называемое *полем пространственного заряда*, которое тормозит испускаемые катодом электроны и возвращает часть из них обратно на катод.

К аноду и сеткам лампы обычно подключают источники напряжения, создающие относительно катода поле, называемое внешним. Таким образом, на электронный поток будет воздействовать суммарное поле, состоящее из поля пространственного заряда и внешнего поля. Различают прямой и обратный токи электрода лампы. Ток, направленный из внешней цепи к данному электроду (кроме катода) и от катода во внешнюю цепь, называют *прямым током электрода*. Ток, направленный во внешнюю цепь от данного электрода (кроме катода) и к катоду из внешней цепи, называют *обратным током электрода*. *Током электрода лампы* называют суммарный ток, протекающий к электроду или от него через между-

электродное пространство. Если электрод имеет несколько выводов, то ток электрода равен сумме токов всех выводов. В зависимости от названия электрода различают ток анода (*анодный ток*), ток катода (*катодный ток*), ток сетки (*сеточный ток*), ток второй сетки, ток модулятора и т. п. Катодный ток равен сумме токов всех остальных электродов, не испускающих электроны.

Обычно на анод подают большое положительное напряжение, под действием которого некоторая доля электронов будет достигать анода, замыкая междуэлектродный промежуток лампы. В результате в замкнутой цепи, состоящей из источника анодного напряжения и междуэлектродного промежутка лампы, протекает анодный ток, величина которого зависит от величины анодного напряжения и напряжения на сетках.

При отрицательном напряжении на аноде ток через лампу проходить не будет. Таким образом, электронные лампы обладают свойством односторонней проводимости, которое позволяет использовать их для выпрямления переменного тока.

Управление величиной анодного тока осуществляется с помощью напряжения, поданного на управляющую сетку лампы. Сетка расположена вблизи поверхности катода, поэтому напряжение на ней оказывает непосредственное влияние на поле заряда. Анод расположен на большем расстоянии от катода, и действие его напряжения на поле у катода значительно меньше, чем действие напряжения сетки. Кроме того, сетка частично оказывает экранирующее действие анодному полю.

Использование управляющего действия сетки позволяет применить электронные лампы для усиления и генерирования электрических колебаний, а также для ряда других целей.

В режиме усиления, например, к сетке лампы подводится переменное напряжение, в соответствии с изменением которого изменяется величина анодного тока. Этот ток, проходя по резистору анодной нагрузки, создает на нем переменное падение напряжения, которое и является выходным напряжением каскада. При этом лампа оказывает сопротивление проходящему через нее электронному току (поток электронов), физический смысл которого поясняется в следующем параграфе.

Аноды ламп во время работы сильно нагреваются. Это нагревание объясняется тем, что летящие со скоростью несколько тысяч километров в секунду электроны, достигнув анода, продолжают движение в нем, но уже со значительно меньшей скоростью (несколько миллиметров в секунду). В результате резкого торможения электронов последние отдают свою энергию аноду (кинетическая энергия превращается в тепловую).

1.3. Основные параметры и характеристики ламп

К основным общим для большинства приемно-усилительных ламп параметрам можно отнести *статический коэффициент усиления, крутизну характеристики и внутреннее сопротивление*. В за-

висимости от назначения лампы характеризуются и другими специальными параметрами.

Крутизной характеристики лампы называют отношение изменения анодного тока к вызвавшему его изменению напряжения управляющей (первой) сетки при неизменных напряжениях остальных электродов лампы

$$S = \frac{dI_a}{dU_{c1}} \left[\frac{\text{мА}}{\text{В}} \right].$$

При определении крутизны на линейном участке характеристики можно от дифференциалов перейти к приращениям соответственно анодного тока ΔI_a и напряжения первой сетки ΔU_{c1} . Значение крутизны на этом участке характеристики и принимается за паспортное значение параметра.

Физически крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменится анодный ток лампы при изменении напряжения управляющей сетки на один вольт.

Для многоэлектродных ламп крутизна характеристики определяется как отношение приращения тока любого электрода к приращению напряжения любого другого электрода, например крутизна по второй сетке

$$S_{c2} = \frac{dI_a}{dU_{c2}}.$$

Наибольшей крутизной характеристики обычно обладают лампы, предназначенные для широкополосного усиления.

Внутренним сопротивлением называют отношение приращения анодного напряжения ΔU_a к соответствующему приращению анодного тока при постоянных напряжениях остальных электродов лампы.

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} [\text{кОм}].$$

Сопротивление лампы переменному току R_i отличается от *сопротивления постоянному току* $R_o = U/I$. У электронной лампы нет сопротивления в обычном понимании этого слова, сопротивления, обусловленного физическими свойствами проводника электрического тока. Увеличение отрицательного напряжения на управляющей сетке приводит к уменьшению анодного тока. Внешне это и воспринимается как увеличение сопротивления лампы.

Наименьшим внутренним сопротивлением обладают лампы, предназначенные для работы в выходных каскадах.

Коэффициентом усиления (статическим) называют отношение приращений напряжения анода и напряжения управляющей сетки, вызывающих одинаковые изменения анодного тока при постоянных напряжениях остальных электродов лампы:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{c1}}.$$

Следовательно, коэффициент усиления показывает, во сколько раз действие на анодный ток одного вольта сеточного напряжения эффективнее действия одного вольта анодного напряжения. Наибольшее значение коэффициента усиления имеют высокочастотные пентоды.

Указанные три параметра (S , R_i , μ) можно определить графическим путем по анодным или анодно-сеточным характеристикам. Коэффициент усиления, крутизна характеристики и внутреннее сопротивление связаны следующим соотношением:

$$\mu = S R_i.$$

Крутизна преобразования S_{Π} — параметр, приводимый для частотнопреобразовательных ламп и определяемый как отношение переменной составляющей анодного тока промежуточной частоты к переменному напряжению сигнальной сетки при заданном переменном напряжении гетеродинной сетки.

Таким образом, этот параметр, выражаемый в миллиамперах на вольт, показывает, какую амплитуду тока промежуточной частоты в анодной цепи лампы создает напряжение сигнала амплитудой в один вольт. Крутизна преобразования в 3...4 раза меньше крутизны характеристики лампы.

Эквивалентное сопротивление шумов лампы — активное сопротивление, на концах которого при комнатной температуре в результате тепловых колебаний электронов возникает напряжение шума, которое, будучи приложенным между управляющей сеткой и катодом нешумящей лампы, вызывает в ее анодной цепи такой же ток шума, какой создается в реальной лампе.

Физически природа шумов объясняется тем, что в одинаковые промежутки времени катод излучает не строго одинаковое число электронов. В соответствии с этим анодный ток претерпевает небольшие хаотического характера флуктуации (отклонения) вокруг среднего значения, которые и приводят к появлению на резисторе анодной нагрузки некоторого переменного напряжения шумов. Это переменное напряжение прослушивается, например, в громкоговорителе в виде шума, по своему характеру напоминающего шум сыплющейся дроби, что и послужило основанием назвать это явление *дробовым эффектом*.

Можно считать, что для триода эквивалентное сопротивление шумов $R_{ш}$ определяется как:

$$R_{ш} = \frac{3}{S} [\text{кОм}],$$

а для пентода

$$R_{ш} = \frac{3}{S_{\Pi}} + \frac{20I_a I_{c2}}{S_{\Pi}^2 (I_a + I_{c2})},$$

где S_{Π} — крутизна преобразования (в мА/В), а I_a и $I_{c,2}$ — токи анода и второй сетки соответственно (в мА).

Следовательно, эквивалентное сопротивление шумов лампы тем меньше, чем больше крутизна ее характеристики. Чем больше электродов у лампы, тем больше шумов она создает. Меньше всего шумят триоды. Пентоды шумят примерно в 2...3 раза сильнее триодов. Особенно сильны шумы у многосеточных преобразовательных ламп. В первых каскадах приемников и усилителей целесообразно применять наименее шумящие лампы, так как создаваемый ими шум усиливается всеми последующими каскадами.

Коэффициент широкополосности является оценкой усилительных свойств лампы, предназначенных для широкополосного усиления, и представляет собой отношение крутизны характеристики к сумме входной и выходной емкости лампы:

$$\gamma = \frac{S}{C_{вх} + C_{вых}} \left[\frac{\text{мА/В}}{\text{пФ}} \right].$$

Естественно, что чем меньше суммарное значение входной и выходной емкости лампы и больше крутизна ее характеристики, тем большее усиление можно получить на высоких частотах.

Таким образом, для высокочастотных ламп большое значение имеют такие параметры, как входная, выходная и проходная *междуэлектродные статические емкости*.¹

Входная емкость — статическая емкость между входным электродом и теми электродами лампы, на которых в рабочем режиме лампы нет переменных потенциалов той частоты, которую имеет приложенное к входному электроду переменное напряжение при заземленном выходном электроде.

Выходная емкость — статическая емкость между выходным электродом и теми электродами лампы, на которых в рабочем режиме лампы нет переменных потенциалов той частоты, которую имеет переменное напряжение на выходном электроде при заземленном входном электроде.

Проходная емкость — емкость между анодом и управляющей сеткой.

Отношение крутизны характеристики лампы к ее проходной емкости служит показателем устойчивости усиления.

Для *триодов, тетродов, пентодов и гептодов* междуэлектродные емкости определяются между следующими электродами: *входная* — между управляющей (для гептода — сигнальной) сеткой и остальными электродами при заземленном аноде; *выходная* — между анодом и остальными электродами при заземленной сетке; *проходная* — между управляющей (для гептода — сигнальной) сеткой и анодом при заземленных остальных электродах.

Входное сопротивление лампы в диапазоне частот 30...300 МГц определяется величиной активной составляющей полного входного сопротивления, измеренной между выводом входного электрода и заземленной точкой при условии, что на всех электродах лампы установлены соответствующие напряжения питания, а высокока-

¹ Емкости между электродами лампы в холодном состоянии.

стотные напряжения (той частоты, на которой производится измерение) на всех электродах, кроме входного, пренебрежимо малы.

Входное активное сопротивление лампы обратно пропорционально квадрату частоты и является параметром, характеризующим высокочастотные свойства лампы.

Чем больше входное сопротивление, тем меньше лампа шунтирует колебательный контур предыдущего каскада. С уменьшением входного сопротивления увеличивается шунтирование контура и, следовательно, уменьшается усиление и избирательность предыдущего каскада.

Лампы, предназначенные для усиления колебаний низкой частоты, характеризуются еще и специальными для них параметрами, такими как выходная мощность и коэффициент нелинейных искажений.

Выходная мощность — мощность переменной составляющей анодного тока на анодной нагрузке. В общем же случае (для любых ламп) — это мощность, отдаваемая в нагрузку через выходной электрод лампы.

Коэффициент нелинейных искажений K_f — отношение выходного напряжения, выделяемого на анодной нагрузке током гармоник (корень квадратный из суммы квадратов выходных напряжений всех высших гармоник, возникающих при усилении), к выходному напряжению тока основной частоты:

$$K_f = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1},$$

где U_2 и U_3 — выходные напряжения второй и третьей гармоник; U_1 — выходное напряжение основной частоты (первая гармоника).

Мощность рассеивается электродом (анодом, сеткой и др.) в виде тепла, образующегося в результате бомбардировки его электронами или ионами, а также в результате излучения тепла другими электродами.

Примерные значения статических параметров различных групп электронных ламп приведены в табл. 1.1.

Лампы имеют следующие характеристики.

Анодно-сеточная характеристика показывает, как изменяется анодный ток лампы в зависимости от изменения напряжения на управляющей сетке при неизменном напряжении на аноде и остальных электродах.

Анодная характеристика выражает зависимость анодного тока от напряжения на аноде при неизменном напряжении на управляющей сетке (смещении) и остальных электродах.

Семейство анодных характеристик — несколько анодных характеристик, отличающихся напряжением смещения на сетке. По семейству анодных характеристик можно произвести графический расчет усилительного каскада, например определить наивыгоднейшую величину резистора нагрузки, подсчитать усиление, выходную мощность, коэффициент нелинейных искажений и др.

Табл. 1.1. Статистические параметры электронных ламп

Приборы	S , мА/В	R_f , кОм	μ	$C_{вх}$, пФ	$C_{прот}$, пФ	$C_{вых}$, пФ
Триоды для усиления мощности	3 ... 10	0,3 ... 10	2 ... 10	5 ... 10	3 ... 15	5 ... 10
Триоды для усиления напряжения	2 ... 20	10 ... 50	20 ... 100	1 ... 5	0,5 ... 3	1 ... 5
Низкочастотные тетроды и пентоды	2 ... 15	10 ... 100	50 ... 1000	3 ... 15	0,1 ... 1	3 ... 10
Высокочастотные тетроды и пентоды	3 ... 30	100 ... 2500	1000 ... 10000	3 ... 10	0,1 ... 0,003	2 ... 10

1.4. Система обозначений и классификация электронных ламп

В соответствии с ГОСТ 13393—67 условные обозначения приемно-усилительных электронных ламп, индикаторов и кенотронов состоят из букв и цифр.

Первым элементом в обозначении является число, указывающее округленно напряжение накала в вольтах. Для генераторных ламп первым элементом в обозначении является буква Г.

Вторым элементом является буква, обозначающая тип электронного прибора:

А — частотно-преобразовательные лампы с двумя управляющими сетками, кроме пентодов с двойным управлением;

Б — диод-пентоды;

В — лампы со вторичной эмиссией;

Г — диод-триоды;

Д — диоды, в том числе демпферные;

Е — электронно-световые индикаторы;

Ж — высокочастотные пентоды с короткой характеристикой, в том числе с двойным управлением;

И — триод-гексоды, триод-гептоды и триод-октоды;

К — высокочастотные пентоды с удлиненной характеристикой;

Л — лампы со сфокусированным лучом;

Н — двойные триоды;

П — выходные пентоды и лучевые тетроды;

Р — двойные тетроды и двойные пентоды;

С — триоды;

Ф — триод-пентоды;

Х — двойные диоды;

Ц — кенотроны, относящиеся к категории приемно-усилительных ламп;

Э — тетроды.

Третий элемент — число, указывающее порядковый номер типа прибора.

Четвертым элементом является буква, характеризующая конструктивное оформление лампы:

А — в стеклянной оболочке сверхминиатюрные диаметром до 8 мм;

Б — в стеклянной оболочке сверхминиатюрные диаметром до 10,2 мм;

Г — в стеклянной оболочке сверхминиатюрные диаметром более 10,2 мм;

Д — в металлостеклянной оболочке с дисковыми впамями;

К — в керамической оболочке;

Н — в металлокерамической оболочке миниатюрные и сверхминиатюрные;

П — в стеклянной оболочке миниатюрные (пальчиковые) диаметром 19 и 22,5 мм;

Р — в стеклянной оболочке сверхминиатюрные диаметром до 5 мм;

С — в стеклянной оболочке с цоколем или без цоколя диаметром более 22,5 мм;

Лампы в металлической оболочке (диаметр более 22,5 мм) не имеют обозначения четвертого элемента.

Добавочный (пятый) элемент в обозначении содержат только лампы специального назначения:

В — лампы повышенной надежности и механической прочности;

Д — лампы особо долговечные (с гарантированной долговечностью 10 тыс. ч и более);

Е — лампы повышенной долговечности (5 тыс. ч и более);

И — лампы, предназначенные для работы в импульсном режиме.

К обозначениям ламп, предназначенных для работы в импульсном режиме, добавляется буква «И» через дефис, например 6Н1П-И.

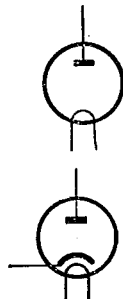
У электрометрических ламп первыми двумя элементами являются буквы «ЭМ», третьим — число, обозначающее порядковый номер типа прибора.

Условные графические обозначения электронных ламп в схемах показаны в табл. 1.2.

Табл. 1.2. Условные графические обозначения электронных ламп

Диод: прямого накала

косвенного накала



Диод двойной: с общим катодом

с отдельными катодами

Триод

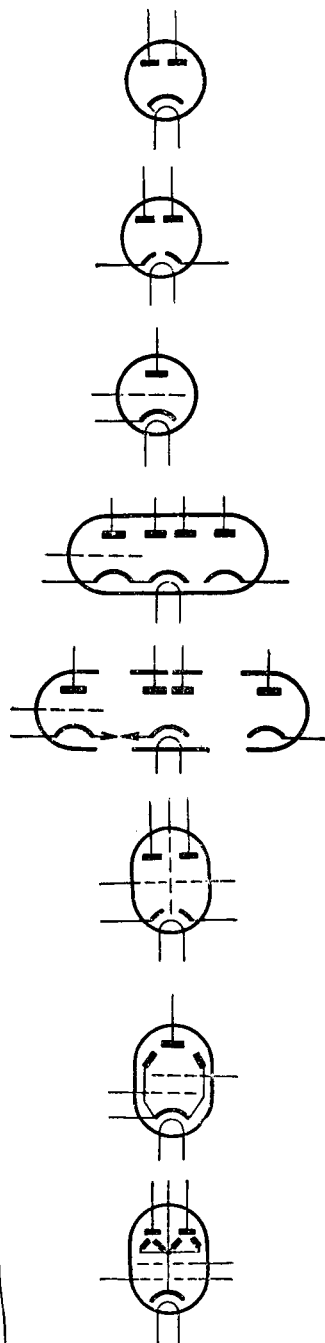
Диод тройной—триод

Примечание. При отдельном изображении систем электродов тройного диода—триода используют следующее обозначение

Триод двойной с отдельными катодами с внутренним разделительным экраном и отводом от него

Тетрод лучевой

Тетрод лучевой двойной



Пентод: с выводом от каждой сетки

третья сетка соединена с катодом

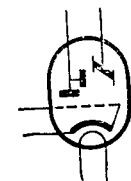
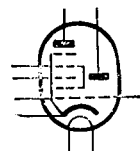
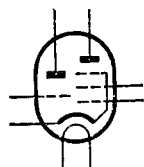
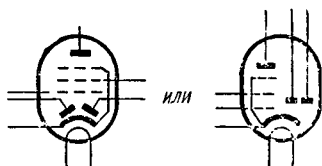
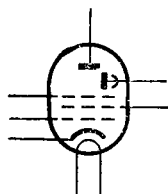
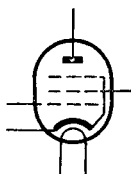
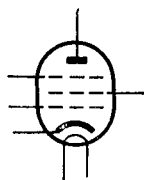
Пентод с вторичной эмиссией

Диод двойной—пентод

Триод-пентод

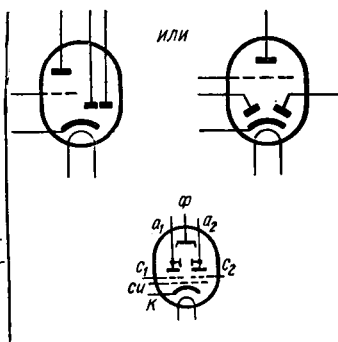
Триод-гептод

Индикатор электронно-световой



Диод двойной—триод

Индикатор электронносветовой с двойным управлением: a_1 , a_2 —аноды первого и второго триодов; $си$ —сетка индикаторная



Ниже приводится классификация помещенных в справочнике ламп по их основному назначению.

Усиление напряжения низкой частоты

Триоды: 6С31Б, 6С32Б, 6С34А, 6С35А, 6И1П, 6Н2П, 6Н4П, 6Н15П, 6Н21Б, 6Н28Б-В.

Пентод: 6Ж32П.

Диод-пентод: 6Б2П.

Триод-пентоды: 6Ф3П, 6Ф4П, 6Ф5П.

Усиление мощности низких частот

Тетроды: 6П1П, 6П27С.

Пентоды: 6П14П, 6П18П, 6П25Б, 6П30Б, 6П33П, 6П43П.

Усиление и генерирование напряжения
высокой частоты

Триоды: 6С3П, 6С4П, 6С15П, 6С51Н, 6С51Н-В, 6С52Н, 6С52Н-В, 6С53Н, 6С53Н-В, 6С58П, 6С59П, 6С62Н, 6Н3П, 6Н5П, 6Н23П, 6Н24П.

Тетроды: 6Ж3П, 6Ж5П, 6Э5П, 6Э6П, 6Э6П-Е, 6Э12Н, 6Э12Н-В, 6П15П.

Пентоды: 1К2П, 1К12Б, 6К1Б, 6К4П, 6К4П-В, 6К6А, 6К8П, 6К11Б-К, 6К13П, 6К14Б-В, 6Ж1П, 6Ж2П, 6Ж4П, 6Ж9П, 6Ж10П, 6Ж11П, 6Ж20П, 6Ж21П, 6Ж22П, 6Ж23П, 6Ж27П, 6Ж31Б-К, 6Ж33П, 6Ж38П, 6Ж39Г-В, 6Ж40П, 6Ж43П-Е, 6Ж44П, 6Ж45Б-В, 6Ж49П-Д, 6Ж50П, 6Ж51П, 6Ж52П, 6Ж53П, 1Ж36Б, 1Ж37Б, 1Ж42А, 13Ж41С, 13Ж47С.

Триод-пентоды: 6Ф1П, 6Ф12П, 9Ф8П.

Усиление мощности высоких частот

Тетроды: 6П21С, 6П23П.

Пентоды: 6П38П, 6П39С, 6Р2П.

Преобразование частоты

1И2П, 6И1П, 6И3П.

Генерирование и усиление импульсов

Триоды: 6С37Б, 6Н6П, 6Н19П, 6Н25Г, 6Н26П.

Детектирование колебаний высокой
и промежуточной частоты

Диод двойной: 6Х2П.

Диод-триод: 6ГЗП.

Диод-пентод: 6Б2П.

Выпрямление высокого напряжения

Высоковольтные кенотроны: 1Ц21П, 3Ц18П, 3Ц22С.

Демпфирование колебательного процесса
в выходных каскадах строчной развертки

Диоды демпферные: 6Д14П, 6Д20П, 6Д22С.

Работа в выходных каскадах строчной развертки

Тетроды: 6П13С, 6П36П, 6П37Н, 6П37Н-В, 6П41С, 6П42С.

6П42С.

Пентод: 6П45С.

Стабилизация напряжения питания

Диод: 4Д17П.

Триоды: 6С19П, 6С20С, 6С33С, 6С40П, 6С41С, 6С46Г-В,

6С56П.

Тетрод: 6Э7П.

Индикация настройки

1Е4А-В, 6Е1П, 6Е2П, 6ЕЗП.

Электрометрические измерения

1Э1П, 2Э2П, ЭМ-4, ЭМ-5, ЭМ-6, ЭМ-7, ЭМ-8, ЭМ-10, ЭМ-11,

ЭМ-12.

Буквенные обозначения электрических параметров ламп, принятые в таблицах справочника.

U_n, I_n — напряжение и ток накала;

U_a, I_a — напряжение и ток анода;

U_{c1} — напряжение смещения на первой сетке;

R_k — рекомендуемое сопротивление в цепи катода для подачи автоматического смещения;

U_{c2}, I_{c2} — напряжение и ток второй сетки;

S — крутизна характеристики;

R_i — внутреннее сопротивление;

μ — статический коэффициент усиления;

$C_{вх}, C_{вых}, C_{прох}$ — входная, выходная и проходная емкость;

$P_{a \text{ доп}}, P_{c2 \text{ доп}}$ — допустимая мощность, рассеиваемая анодом и второй сеткой соответственно;

γ — коэффициент широкополосности;

$R_{ш}$ — эквивалентное сопротивление шумов;

$R_{вх}$ — входное сопротивление;

U_z, I_z — напряжение и ток управляющего электрода в электроносветовых индикаторах.

I_{c1} — ток первой сетки для электрометрических ламп;

$P_{вых}$ — выходная мощность.

2. ТИПЫ, ЦОКОЛЕВКА И ПАРАМЕТРЫ ДИОДОВ И УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЛАМП

2.1. Диоды

Диоды, предназначенные для выпрямления переменного тока в источниках питания, называют *кенотронами*. Диоды, предназначенные для подавления паразитных колебаний, возникающих в строчной развертке, называют *демпферными диодами*. В зависимости от назначения кенотроны выполняются одинарными и двойными. В зависимости от величины допустимого обратного напряжения кенотроны делят на низковольтные (до 1,7 кВ) и высоковольтные (более 1,7 кВ). Одинарные кенотроны предназначены для применения в однополупериодных схемах выпрямления, двойные — в двухполупериодных схемах. Низковольтные кенотроны почти все являются двойными, высоковольтные — одинарными с выводом анода в верхнюю часть баллона. Примером высоковольтного кенотрона является лампа 1Ц21П, демпферного диода — 6Д20П, 6Д22С.

Детекторными называют диоды, предназначенные для выпрямления переменных токов высокой частоты. Их выполняют одинарными и двойными (например, 6Х2П). Детекторные диоды рассчитаны на малые напряжения и токи. Они должны иметь малое значение междуэлектродной емкости и высокую крутизну характеристики. Двойные диоды имеют специальные электростатические экраны для снижения паразитной емкости между анодами отдельных диодов.

Цоколевка некоторых типов диодов показана на рис. 2.1, параметры приведены в табл. 2.1.

Табл. 2.1. Параметры двухэлектродных ламп

Термины параметров	6Х2П	4Д17П	6Д14П	6Д20П	1Ц21П	3Ц18П	3Ц22С	6Д22С
Напряжение накала, В	6,3	4,0	6,3	6,3	1,4	3,15	3,15	6,3
Ток накала, А	0,3	1,75	1,1	1,8	0,69	0,21	0,4	1,9
Среднее значение выпрямленного тока, мА	17	—	150	90	0,6	1,5	2,0	300
Допустимая амплитуда обратного напряжения, кВ	0,45	—	5,6	6,5	25	25	36	6,0
Допустимая амплитуда анодного тока, мА (в импульсе)	90	16	600	600	40	15	—	1000
Междуэлектродная емкость промежутка анод — катод, пФ	4,8	—	10	10	3,0	1,5	2,5	13,5

2.2. Триоды

Триоды выполняются одинарными и двойными. Триоды, предназначенные для работы в усилительных схемах, условно делят на две группы: триоды для усиления напряжения и триоды для усиления

ния мощности. *Триоды для усиления напряжения* должны обеспечивать большое неискаженное усиление слабых сигналов по напряжению. Поэтому они имеют высокий коэффициент усиления, достигаемый применением густой сетки, и малую допустимую мощность, рассеиваемую на аноде. Величина внутреннего сопротивления их лежит в пределах $5 \div 50$ кОм, а крутизна — в пределах $1 \div 5$ мА/В. Примерами таких триодов являются лампы 6С15П и 6Н4П.

Триоды для усиления мощности должны обеспечивать получение возможно большей полезной мощности в нагрузке. Такие триоды имеют мощный катод и больших размеров анод для того, чтобы обеспечить получение больших токов. Типичным триодом для усиления мощности является лампа 6Н6П.

Для работы в схемах электронной стабилизации напряжения применяются *триоды с малым внутренним сопротивлением* (6С19П, 6С33С). В схемах высоковольтных стабилизаторов напряжения применяются *триоды с очень высоким внутренним сопротивлением*, например 6С20С, 6С39С, 6С40П и др.

В каналах высокой частоты телевизоров находят применение специальные двойные триоды типа 6Н24П.

Цоколевка одинарных триодов показана на рис. 2.1, параметры приведены в табл. 2.2, цоколевка двойных триодов показана на рис. 2.1, параметры приведены в табл. 2.3.

2.3. Лучевые тетроды и пентоды

Лучевые тетроды применяются в выходных каскадах усилителей низкой частоты, в генераторах, передатчиках и усилителях строчной развертки телевизоров. Примерами лучевых тетродов прямого накала являются лампы типа 6П21С, 6П23П. С катодом косвенного накала выпускаются лучевые тетроды типов 6П13С, 6П1П, 6П23П, 6П42С, 6П27С, 6П34С, 6П41С.

Цоколевка экранированных и лучевых тетродов показана на рис. 2.1, параметры приведены в табл. 2.4.

Усилительные *пентоды малой мощности* применяются для работы на высоких и низких частотах. *Пентоды большой мощности* находят применение в выходных каскадах усилителей низкой частоты. Они используются также в генераторах и передатчиках. Промышленностью выпускаются также *генераторные пентоды*.

Высокочастотные пентоды выпускаются с короткой (обычной) и удлиненной анодно-сеточной характеристикой. *Выходные пентоды* выпускаются трех типов: низкочастотные, широкополосные и специальные. *Низкочастотные пентоды* в отличие от высокочастотных имеют меньшие значения коэффициента усиления и внутреннего сопротивления. Значение же добротности (μS) у этих ламп большое.

Низкочастотные выходные пентоды рассчитываются на сравнительно большие анодные токи и в связи с этим должны иметь большие допустимые мощности рассеяния на электродах (аноме и эк-

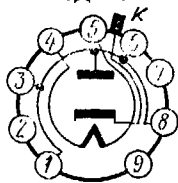
Табл. 2.2. Параметры одинарных триодов

Тип триода	U_H , В	I_H , А	U_a , В	I_a , мА	S , мА/В	μ	R_i , кОм	$C_{вх}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	$C_{прох}$, пФ
6С15П	6,3	0,44	150	40	45	52	1,24	11	1,8	4
6С19П	6,3	1,0	110	95	7,5	3,7	420	5,75	2,5	10
6С20С	6,3	0,2	25000	1	0,25	2500	—	2,5	0,75	0,1
6С31Б	6,3	0,22	50	40	18	17	0,9	4,1	1,5	3,8
6С32Б	6,3	0,165	200	3,5	3,5	100	28	2,8	0,65	1,2
6С33С	6,3	6,6	120	550	45	3,6	0,08	30	10,5	31
6С34А	6,3	0,127	100	8,5	4,6	25	5,1	2	2,3	1,6
6С35А	6,3	0,127	200	3,0	4	70	18	2	2,4	1,7
6С37Б	6,3	0,44	80	40	16,5	13	0,78	6	4,7	3,9
6С40П	6,3	0,17	20000	0,3	0,2	1400	5000	2,5	0,5	0,05
6С41С	6,3	2,7	90	250	21	3,15	0,15	7	5	15
6С56П	6,3	1,0	110	95	8,5	2,9	0,35	6	5	17
6С58П	6,3	0,3	150	27	36	64	1,7	7,5	1,15	2
6С59П	6,3	0,3	150	27	36	62	1,7	12,3	2,5	0,255

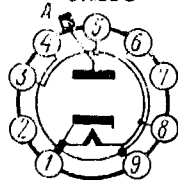
Табл. 2.3. Параметры двойных триодов

Тип триода	U_H , В	I_H , А	U_a , В	I_a , мА	S, мА/В	R_1 , кОм	μ	$C_{вх}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	$C_{прох}$, пФ	P_a доп., Вт
6Н1П	6,3	0,6	250	7,5	4,5	11	35	3,1	1,75; 1,95	1,85	2,2
6Н2П	6,3	0,34	250	2,3	2,1	50	100	2,35	2,5	0,7	1
6Н3П	6,3	0,35	150	8,5	5,9	6,25	36	2,45	1,25	1,6	1,8
6Н4П	6,3	0,3	250	3	1,75	21,6	41	1,55	1,5	1,6	1,5
6Н5П	6,3	0,6	200	9,75	4,2	6,4	27	3	1,5; 1,7	2,25	2,2
6Н6П	6,3	0,75	120	30	11	1,8	20	4,4	1,65; 1,8	3,5	4,8
6Н15П	6,3	0,45	300	10	5,6	6,8	38	2,3	0,55	1,5	1,6
6Н19П	6,3	0,65	150	14,5	13,5	5,1	70	3,8	1,2	3,4	2
6Н21Б	6,3	0,4	200	3,5	3,8	21,5	82	2,7	0,6	1,4	1
6Н23П	6,3	0,31	100	15	12,7	2,4	34	3,6	2,1; 1,95	1,55	1,8
6Н24П	6,3	0,3	100	15	12,5	2,4	33	3,9; 6,3	2; 3,2	1,3; 0,25	1,8
6Н25Г	6,3	0,38	75	11	2,25	8,1	18	1,1	0,09	0,7	1,2
6Н26П	6,3	0,6	150	14	9,5	5,0	48	4	2,2	1,9	2,6

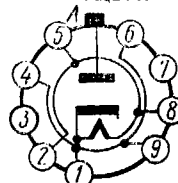
6Д22С



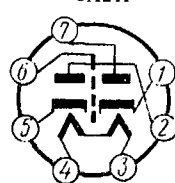
3И22С



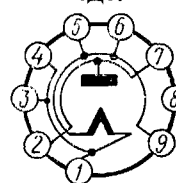
1Ц21П



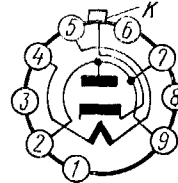
6Х2П



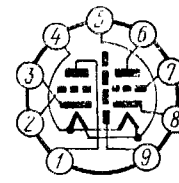
4Д17П



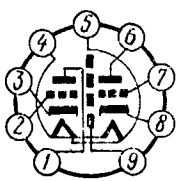
6Д20П-6Д14П



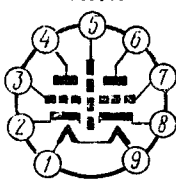
6Н1П



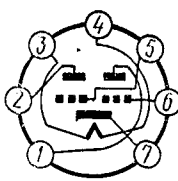
6Н2П



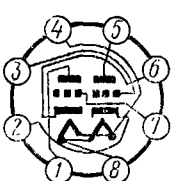
6Н3П



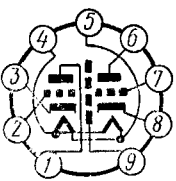
6Н15П



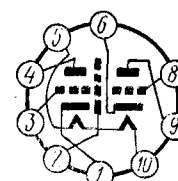
6Н16Б



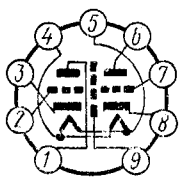
6Н6П



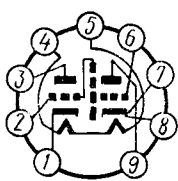
6Н21Б



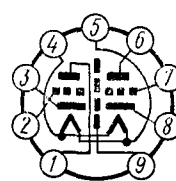
6Н23П



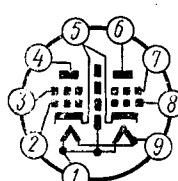
6Н24П



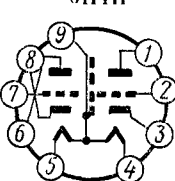
6Н5П



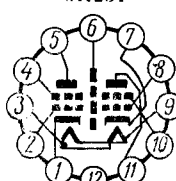
6Н19П



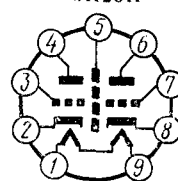
6Н4П



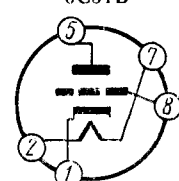
6Н25Г



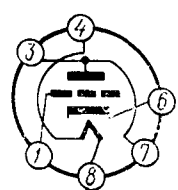
6Н26П



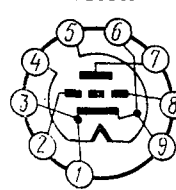
6С31Б



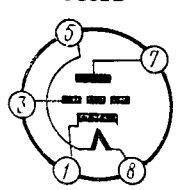
6С37Б



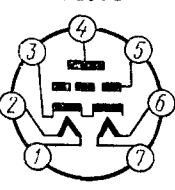
6С15П



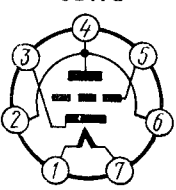
6С32Б



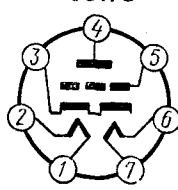
6С33С



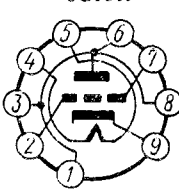
6С41С



6С47С



6С19П



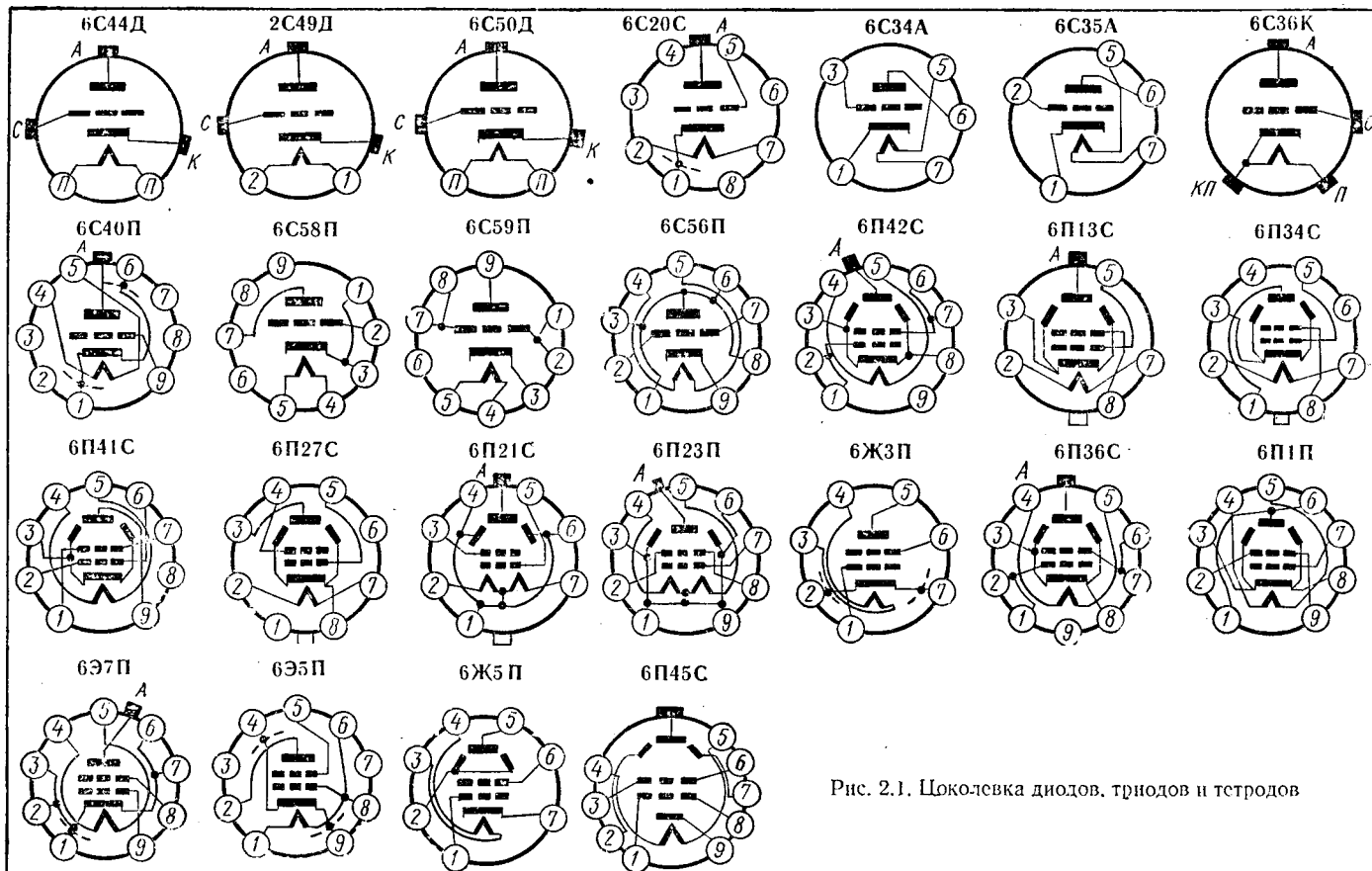


Рис. 2.1. Цоколевка диодов, триодов и тетродов

Табл. 2.5. Параметры пентодов с короткой характеристикой

Тип пентода	$U_{н.}$ В	$I_{н.}$ А	$U_{а.}$ В	$I_{а.}$ мА	$U_{с2.}$ В	$I_{с2.}$ мА	$S.$ Ам/В	$R_1.$ кОм	$P_{а.}$ доп. Вт	$P_{с2.}$ доп. Вт	$C_{вх.}$ пФ	$C_{вых.}$ пФ	$C_{прох.}$ пФ
6Ж1П	6,3	0,17	120	7,35	120	3	5,2	300	1,8	0,55	4,1	2,35	0,03
6Ж2П	6,3	0,17	120	6	120	5	4,15	130	1,8	0,85	4,1	2,35	0,035
6Ж4П	6,3	0,3	250	11	150	4,5	5,7	900	3,5	0,9	6,3	6,3	0,0035
6Ж10П	6,3	0,3	200	6,5	100	5,5	10	100	3	0,75	8,5	4,1	0,02
6Ж23П	6,3	0,44	150	13,5	150	6	15	36	2,45	1,15	13,5	3	0,075
2Ж27П	2,2	0,057	120	1,9	45	0,35	1,25	15	1,0	0,3	4,5	2	—
6Ж32П	6,3	0,2	250	3	140	0,8	2	2500	1,0	0,2	4	5,5	0,05
6Ж33А	6,3	0,127	120	7,5	100	4	4,5	9	1,3	0,4	3,6	3,3	0,3
1Ж36Б	1,35	0,074	150	5	45	0,4	2	35	1,5	—	4,3	3	0,05
1Ж37Б	1,2	0,059	45	2,5	45	0,5	1,2	50	—	—	2,25	2,7	0,008
6Ж38П	6,3	0,19	150	12	100	3,5	10,6	360	3	0,5	5,8	3,1	0,02
6Ж40П	6,3	0,3	12,6	1,85	6,3	0,5	2,5	100	0,5	0,5	6,7	4,1	0,025
1Ж42А	1,2	0,015	6	0,55	6	0,25	0,46	60	—	—	10	3,5	0,035
6Ж50П	6,3	0,3	150	25	150	4	3,5	90	5,3	0,9	12	2,8	0,06
6Ж51П	6,3	0,3	200	8,5	200	3,5	15,5	7	2,5	1	11,5	3,3	0,0046

Табл. 2.4. Параметры экранированных и лучевых тетродов

Тип тетрода	U_H , В	I_H , А	U_a , В	I_a , мА	S , мА/В	R_i , кОм	$P_{a, \text{доп.}}$, Вт	U_{c2} , В	I_{c2} , мА	$-U_{c1}$, В (R_K , Ом)	P_{c2} , доп., Вт	$C_{вх}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	$C_{прох.}$, пФ
6П1П	6,3	0,5	250	44	4,9	42,5	12	250	7	12,5	2,5	8	5	0,9
6Ж3П	6,3	0,3	250	7	5	800	2,5	150	2	(200)	0,55	6,2	3,05	0,018
6Ж5П	6,3	0,45	300	10	9	240	3,6	150	3,5	2	0,5	8,4	2,15	0,03
6Э5П	6,3	0,6	150	43	30,5	8	8,3	150	14	(30)	2,3	15	2,56	0,05
6Э7П	6,3	0,75	5000	—	1,6	—	10	25	0,1	2,5	0,1	5,6	1,1	0,05
6П13С	6,3	1,3	200	220 ¹	9,5	23	14	200	120 ¹	19	4	17,5	6	0,9
6П21С	6,3	0,75	600	36	4	20	18	200	5	16	3,5	8,2	6,5	0,15
6П23П	6,3	0,75	300	40	4,5	44	11	200	5	16	3	7,5	4,5	0,1
6П27С	6,3	1,5	250	100	10	15	27,5	265	15	13,5	8	15	11	1
6П36С	6,3	2,0	100	120	20	4,5	12	100	—	7	5	32	21	1
6П41С	6,3	1,1	190	66	8,4	12	14	190	2,7	—	—	23	10,5	0,5
6П42С	6,3	2,1	—	700	—	1,5	24	—	120 ¹	—	4,5	39	14	1

¹ В импульсе.

Табл. 2.6. Параметры пентодов с удлинненной характеристикой

Тип пентода	U_H , В	I_H , А	U_A , В	U_{C2} , В	I_A , мА	I_{C2} , мА	S , мА/В	R_1 , кОм	P_A , доп. Вт	P_{C2} , доп. Вт	$C_{ВХ}$, пФ	$C_{ВЫХ}$, пФ	$C_{ПРОХ}$, пФ	$-U_{C1}$, В (R_K , Ом)
6К1Б	6,3	0,2	120	120	8	4	4,8	—	1,2	0,4	5,1	3,8	0,3	(200)
1К2П	1,2	0,03	60	45	1,35	0,35	0,7	1500	0,3	—	3	4,9	0,01	0
6К4П	6,3	0,3	250	100	10	3,7	4,4	850	3	0,6	6,4	6,7	0,0045	(68)
6К6А	6,3	0,127	120	100	7,5	4	4,5	—	1,3	0,4	3,6	3,3	0,03	(120)
6К8П	6,3	0,3	12,6	3,2	0,9	0,25	1,1	190	0,5	0,5	6,7	4,1	0,025	—
	6,3	0,3	25	6,3	2,75	0,75	2,1	75	—	—	—	—	—	—
1К12Б	1,2	0,06	60	40	2,3	0,7	1	—	0,6	0,1	2,7	3,1	0,008	0
6К13П	6,3	0,3	200	90	12	4,5	12,5	500	2,5	0,65	11,7	3,9	0,006	(120)

Табл. 2.7. Параметры выходных пентодов

Тип пентода	U_H , В	I_H , А	U_A , В	U_{C2} , В	$-U_{C1}$, В (R_K , Ом)	I_A , мА	C_2 , мА	S , мА/В	R_1 , кОм	P_A , доп. Вт	P_{C2} , доп. Вт	$C_{ВХ}$, пФ	$C_{ВЫХ}$, пФ	$C_{ПРОХ}$, пФ
6П14П	6,3	0,76	250	250	(120)	48	5	11,3	30	14	2,2	11	7	0,2
6П18П	6,3	0,76	180	180	(110)	53	8	11	22	12	2,5	11,5	6	0,2
6П25Б	6,3	0,45	110	110	8	30	5	4,5	—	4,1	—	6,7	6,8	0,2
6П30Б	6,3	0,395	120	120	(330)	35	1,3	4,45	—	5,5	—	12	4,2	0,6
1П32Б	1,35	0,21	150	150	14	18,5	1,5	2,7	—	4	—	5,9	6	—
6П33П	6,3	0,9	170	170	12,5	70	6,5	10	25	12	1,75	12	7	1
6П38П	6,3	0,45	150	150	(22)	50	8	65	30	10,5	—	21,5	3,9	0,075
6П39С	6,3	0,6	125	125	(51)	50	6	45	18	10	—	18	4	0,11
6П43П	6,3	0,625	185	185	(340)	45 ± 9	2,7	—	—	12	2	13	9	0,7
6П45С	6,3	2,5	150	175	10	800	150	—	2,5	35	5,5	55	20	1,5

ране). Они применяются также и в оконечных каскадах кадровой развертки телевизоров. К ним относятся лампы 6П14П, 6П18П и др.

Цоколевка пентодов показана на рис. 2.2. Параметры пентодов с короткой характеристикой приведены в табл. 2.5, пентодов с удлиненной характеристикой — в табл. 2.6, выходных пентодов — в табл. 2.7.

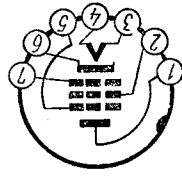
2.4. Комбинированные лампы

Комбинированные лампы выполняют самые разнообразные функции. Они являются усилителями, преобразователями частоты, детекторами и т. п. Диоды комбинированных ламп обычно используются для выпрямления токов высокой частоты (детектирования), а триоды и пентоды — для усиления колебаний низкой или высокой частоты. Триод-пентоды типа 6Ф1П, 6Ф3П, 6Ф5П используются в телевизионных приемниках в качестве генераторов развертки, усилителей и преобразователей. Триодные части триод-гексодов (1И2П) и триод-гептодов (6И2П) используются в качестве маломощного генератора (гетеродина). Лампа 6И1П применяется в радиовещательных приемниках в качестве преобразователя частоты, а лампа 6Ф1П — в канале высокой частоты телевизоров. Лампа 1И2П применяется в батарейных приемниках.

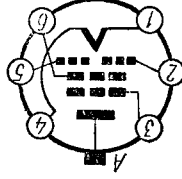
Промышленностью разработана лампа 6Ф12П, пентодная часть которой эквивалентна пентоду 6Ж53П. Преимуществом этой лампы перед существующими триод-пентодами является минимальная емкость связи между сеткой пентода и анодом триода, номинальная величина которой составляет 0,008 пФ. Это практически исключает взаимное влияние одной части лампы на другую. Лампа 6Ф12П эффективно работает в качестве преобразователя, поскольку крутизна преобразования ее пентодной части в три раза выше, чем у лампы 6Ф1П. В блоках цветности телевизоров пентодные части этих ламп используют для усиления трех цветоразностных видеосигналов до напряжения порядка 150 В при нелинейных искажениях не более 10%. Триодную часть лампы можно использовать в яркостном канале телевизора, она обеспечивает такое же выходное напряжение, что и пентодная часть. Оконечные каскады усилителей низкой частоты, собранные на пентодной части этой лампы, позволяют получить выходную мощность до 1 Вт при нелинейных искажениях не более 3%. Предварительный усилитель на триодной части лампы позволяет получить коэффициент усиления порядка 80 при сопротивлении анодной нагрузки 20...30 кОм.

Цоколевка комбинированных ламп показана на рис. 2.2, параметры приведены в табл. 2.8.

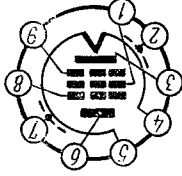
Разновидностью комбинированных ламп являются *электронно-световые индикаторы*, включающие индикаторную и триодную части. Электронно-световые индикаторы предназначены для наблюдения за изменениями напряжений, сравнения и измерения напряжений в приемниках с частотной и амплитудной модуляцией,



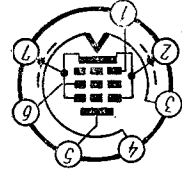
6K1E



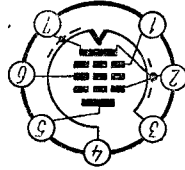
1K37E



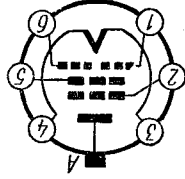
6K32E



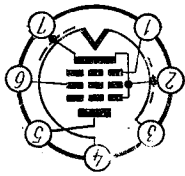
6K1E



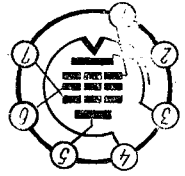
6K4E



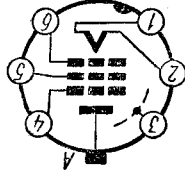
1K42A



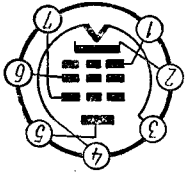
6K38E



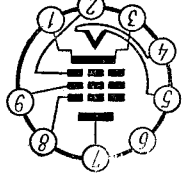
6K2E



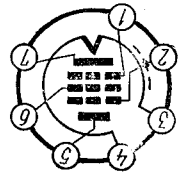
1K12E



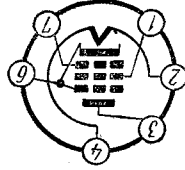
6K40E



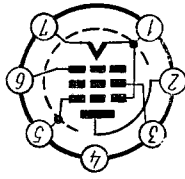
6K50E



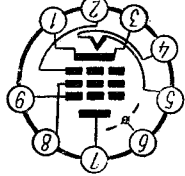
6K4E



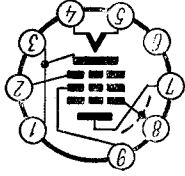
6K6A



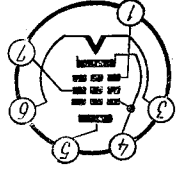
1K2E



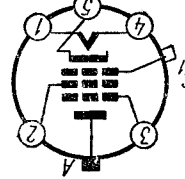
6K51E



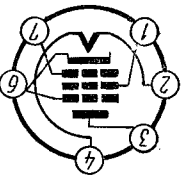
6K10E



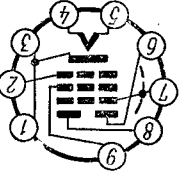
6M25E



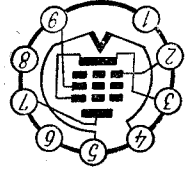
6K1E



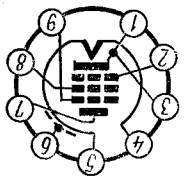
6K38A



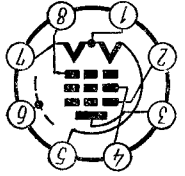
6K23E



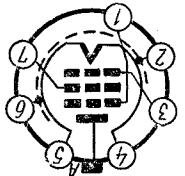
6M14E-6M43E



6K13E



1K36E



6K27E

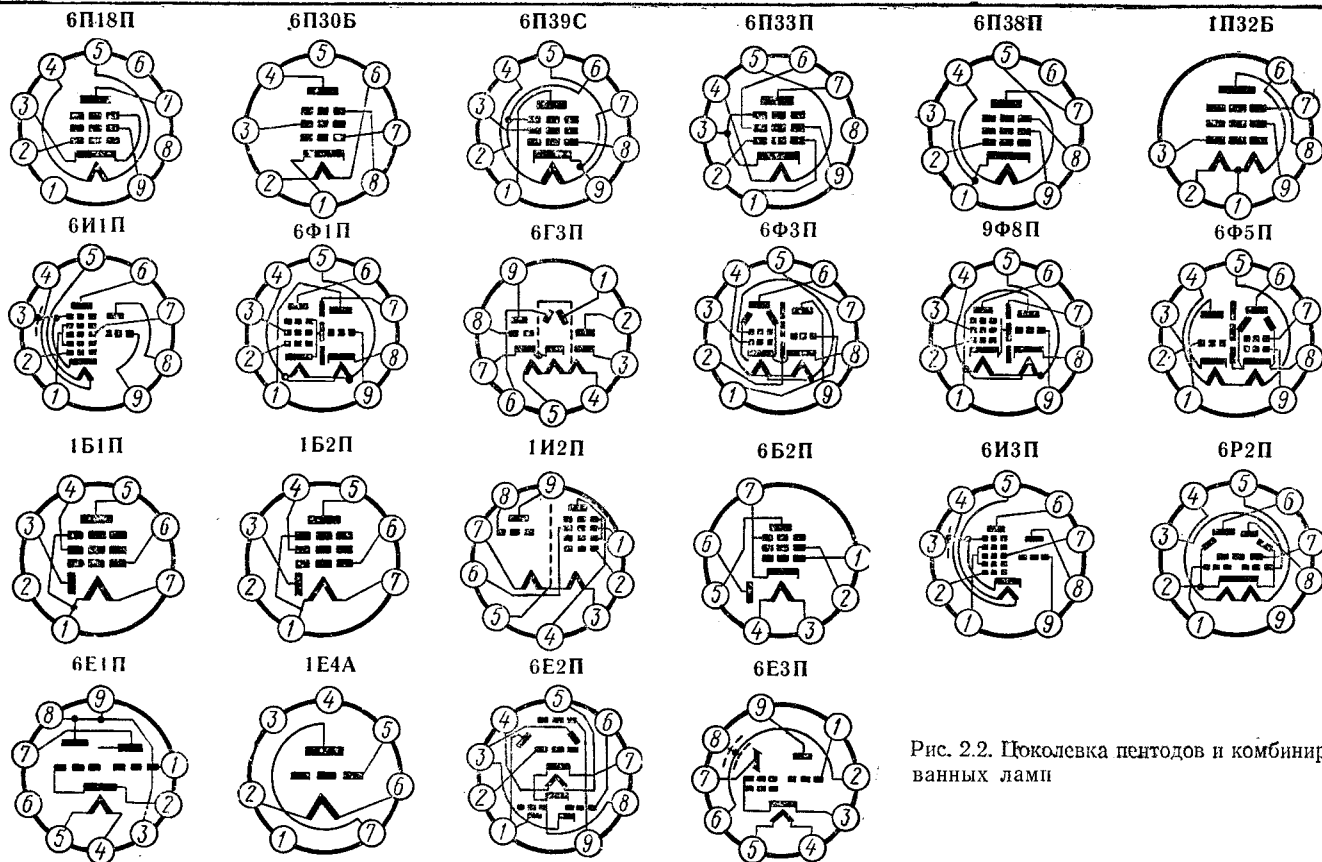


Рис. 2.2. Цоколевка пентодов и комбинированных ламп

Табл. 2.8. Параметры комбинированных ламп

Тип лампы	U_H , В	I_H , А	U_a , В	U_{c2} , В	$-U_{c1}$, В (R_K , Ом)	I_a , мА	I_{c2} , мА	S, мА/В	R_1 , кОм	μ	P_a , доп., Вт	P_{c2} , доп., Вт	$C_{вх.}$, пФ	$C_{вых.}$, пФ	$\epsilon_{прох.}$, пФ
6Ф1П	6,3	0,42	100 ¹ 170	— 170	2 2	13 10	— 4	5 6,2	— 400	20 —	1,5 2,5	— 0,7	2,5 5,5	0,3 3,4	1,45 0,025
6И1П	6,3	0,3	100 250	— 100	2 2	6,8 3,8	— 6,5	2,2 0,77	6,0 700	23,5 —	0,8 1,7	— 1,0	2,6 5,1	2,0 7,4	1,0 0,006
1И2П	1,2	0,06	60 60	— 45	0	1,05	0,7	1	25 650	25 —	0,25 0,3	— 0,1	0,7 6,3	3 4,7	1,9 0,1
6Б2П	6,3	0,3	250	125	3	10	2,45	1,35	600	—	—	—	4	9	0,008
6Р2П	6,3	0,6	200	200	16	20	6	2,5	—	—	6,5	3	4,5	2	0,1
6И3П	6,3	0,3	250	100	2	6 5,3	— 2,8	—	700	20	1,9	—	5,1	7,4	0,006
6Ф3П	6,3	0,81	170 170	— 170	1,5 11,5	2,5 41	— 14	2,5 7	— 15	75 —	1 8	— 2,5	2,2 9,3	0,4 8,5	3,7 0,3
6Ф4П	6,3	0,72	200 170	— 170	(600) (100)	3 18	— 5,5	4 11	16 100	65 —	1 4	— 1,7	4 9,5	0,6 4	2,7 0,1
6Ф5П	6,3	0,93	100 185	— 185	(160) (340)	5,2 41	— 2,7	7 7,5	— 23	70 —	0,5 9	— 2	3,5 11,7	0,25 8,8	1,8 0,7
9Ф8П	9	0,3	100 170	— 170	2 2	13 10	— 4,5	5 6,2	— 400	20 —	1,5 2,5	— 0,7	2,5 5,5	0,3 3,2	1,45 0,025

¹ Для триода.

измерительных, счетно-решающих и других приборов. Выпускаются индикаторы косвенного и прямого накала миниатюрной конструкции, одинарными и двойными. К одинарным индикаторам относятся лампы типа 6Е1П и 6ЕЗП. Индикатор 6Е2П предназначен для сравнения двух напряжений, 1Е4А с катодом прямого накала — для световой сигнализации уровня напряжения в схемах на транзисторах.

Цоколевка электронносветовых индикаторов показана на рис. 2.2, параметры приведены в табл. 2.9.

Табл. 2.9. Параметры индикаторов настройки

Тип индикатора	U_n , В	I_n , А	U_a , В	U_{Σ} , В	$-U_{\Theta}$, В	I_a , мА	I_{Σ} , мА	S , мА/В	μ	P_a , доп. Вт
6Е1П	6,3	0,3	100	250	2	2	4	0,5	24	0,2
6ЕЗП	6,3	0,23	250	250	4	0,35	—	—	—	0,5
1Е4А-В	1	0,025	150	—	0,25	1,5	—	—	—	—

2.5. Лампы для широкополосного усиления

В телевизионной технике, радиолокации, аппаратуре дальней связи и других устройствах находят применение специальные лампы, способные усиливать широкую полосу частот сигнала. Особенностью их является большое значение *коэффициента широкополосности* (см. 1.3).

Среди ламп этого типа наиболее распространены лампы с *мелкоструктурными сетками*. Конструктивными особенностями их являются: применение очень тонкой проволоки для изготовления сеток (толщина достигает 5000 нм); малый шаг навивки; очень малое расстояние между управляющей сеткой и катодом, позволяющее получить высокое значение крутизны анодно-сеточной характеристики. Типичными широкополосными лампами, выпускаемыми отечественной радиопромышленностью, являются лампы типа 6Ж9П, 6СЗП, 6С4П, 6Ж11П, 6Э6П-Е, 6Ж52П, 6Ж53П, 6Ф12П и др.

Цоколевка ламп с мелкоструктурными сетками показана на рис. 2.3, параметры приведены в табл. 2.10.

Цоколевка ламп с катодными сетками показана на рис. 2.3, параметры приведены в табл. 2.11.

2.6. Специальные лампы

Рост числа ламп в устройствах, усложнение выполняемых ими функций и условий их эксплуатации предъявляют повышенные требования к надежности и долговечности ламп. Отечественная промышленность выпускает специальные усилительные лампы *повышенной надежности и долговечности*. Типичными надежными и долговечными лампами являются лампы типов 6Ж1П-В, 6Ж1П-Е, 6Ж2П-Е, 6Ж45Б-В, 6К14Б-В, 6Ж46Б-В, 6Н28Б-В и др.

Табл. 2.10. Режим измерения и параметры ламп для широкополосного усиления

Тип лампы	U_n , В	R_k , Ом	U_a , В	U_{c2} , В	I_n , мА	I_a , мА	I_{c2} , мА	S , мА/В	S/P , мА/В·Вт	$C_{вх}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	$C_{прох}$, пФ	$\gamma = S/\Sigma C$, мА/В·пФ	$R_{ш}$, Ом	$R_{вх}$, при 60 МГц, кОм	I_a/I_n
6СЗП	6,3	100	150	—	300	16	—	19,5	6,5	6,4	1,55	2,2	2,14	170	—	0,45
6С4П	6,3	100	150	—	300	16	—	19,5	6,5	11,3	3,6	0,17	1,1	170	—	0,45
6Э6П	6,3	30	150	150	600	44	10	30,5	2,58	15	2,6	0,06	1,74	350	2	0,82
6Ж9П	6,3	80	150	150	300	15	4,5	17,5	3,63	8,5	3	0,03	1,49	350	5	0,77
6Ж11П	6,3	50	150	150	440	25	7,5	28	5,7	13,5	3,45	0,04	1,65	—	—	0,62
									6,6 ¹	4,6 ¹	0,26 ¹	1,6 ¹				
6Ф12П	6,3	68	150	—	330	12,5	—	20	6,0 ²	6,6 ²	1,9 ²	0,02 ²	4,55	100	5	—
6П15П	6,3	75	300	150	760	30	4,5	15	—	13,5	7	0,07	—	—	—	—
6Ж52П	6,3	24	100	150	330	40	8	55	6,1	13,5	1,8	0,05	3,5	150	1	0,91
6Ж53П	6,3	68	150	150	160	13	2,2	20	5,75	6,6	1,7	0,008	2,6	250	10	0,915

¹ Данные для триодной части.² Данные для пентодной части.

Табл. 2.11. Параметры ламп с катодной сеткой

Тип лампы	$I_{с.к}^1$, мА	$U_{с.к.}^2$, В	I_n , А	U_a , В	U_{c2} , В	U_{c1} , В (R_k , Ом)	I_a , мА	I_{c2} , мА	S , мА/В	R_i , кОм	$C_{вх}$, пФ	$C_{вых}$, пФ	$C_{прох}$, пФ
6Ж20П	31	6	0,45	150	150	—1,1	16,5	4	16,5	90	9	2,65	0,05
6Ж21П	35	13,6	0,34	150	150	—1,1	15	5	15	95	5,8	1,9	0,042
6Ж22П	65	12,6	0,47	150	150	—1,2	30	7,5	23	55	9,3	2,55	0,06
6Ж44П	55	18	0,6	150	120	(18)	25	7	25	—	8,6	3,6	0,038

¹ Ток катодной сетки.² Напряжение катодной сетки.

В семействе усилительных ламп повышенной долговечности особое место занимают *сверхдолговечные лампы*. Они предназначены для усилителей подводных кабелей связи и не отличаются высокими электрическими параметрами. Типичными сверхдолговечными лампами являются лампы типа 13Ж41С и 13Ж47С.

Параметры надежных, долговечных и сверхдолговечных ламп приведены в табл. 2.12, их цоколевка показана на рис. 2.3.

Табл. 2.12. Параметры надежных, долговечных и сверхдолговечных ламп

Тип лампы	U_n , В	I_n , А	U_a , В	U_{c2} , В	I_a , мА	I_{c2} , мА	S , мА/В	R_i , кОм	$C_{вх.}$, пФ	$C_{вых.}$, пФ	$C_{прох.}$, пФ
6К4П-В	6,3	0,3	250	100	10	3,7	4,4	850	6	6,3	0,0035
6Э6П-Е	6,3	0,6	150	150	44	10	30,5	15	15	5,9	0,075
6К11Б-К	6,3	0,2	120	120	8	4	4,8	—	4,8	3,8	—
6Э12Н-В	6,3	0,14	120	50	9,5	3,6	11	—	7	1,5	0,015
6К14Б-В	6,3	0,125	50	50	5,5	1,5	5	—	6,1	2,1	0,05
6Н28Б-В	6,3	0,245	—	—	7	—	6,75	—	3,2	2,2	2
6Ж31Б-К	6,3	0,2	120	120	7,5	3,5	5	—	4,8	3,8	—
6П35Г-В	6,3	0,45	80	80	50	10	10,5	1000	11	6	0,2
6П37Н-В	6,3	1,1	100	100	125	6	20	—	27	5,5	0,4
6Ж39Г-В	6,3	0,44	100	100	25	10	28	—	13,5	3,5	0,12
13Ж41С ¹⁾	13,3	0,295	80	80	2	0,8	4,1	500	11	3	0,04
6Ж43П-Е	6,3	0,48	150	150	29	6,5	14,5	36	13,5	3,0	0,035
6Ж45Б-В	6,3	0,125	50	50	5,5	1,5	5,4	—	6,1	2,1	0,05
6С46Г-В	6,3	0,5	42	—	60	—	20	0,35	6	1,8	7,5
13Ж47С ²⁾	13,3	0,295	80	80	5	1,5	6,7	450	11,6	3	0,04
6Ж49П-Д	6,3	0,3	150	150	15	2,45	17,5	100	8,2	2,7	0,03
6С51Н-В	6,3	0,13	80	—	10	—	11	—	4,35	2,2	1,9
6С52Н-В	6,3	0,13	120	—	8	—	10	—	4,35	2,1	1,0
6С53Н-В	6,3	0,13	120	—	9	—	12	—	6,75	1,5	0,95

¹⁾ Долговечность 100 тыс. ч.

²⁾ Долговечность 45 тыс. ч.

Табл. 2.13. Параметры нувисторов

Тип лампы	U_n , В	I_n , мА	U_a , В	I_a , мА	U_{c2} , В	I_{c2} , мА	R_K , Ом	S , мА/В	μ	$C_{вх.}$, пФ	$C_{прох.}$, пФ	$C_{вых.}$, пФ
6Э12Н	6,3	130	125	10	50	3,6	68	9,5	—	7	0,017	1,6
6П37Н	6,3	1100	100	100	100	20	—	16	—	20	0,3	2,0
6С51Н	6,3	130	75	10	—	—	130	10	32	4,2	1,75	1,8
6С52Н	6,3	130	110	8	—	—	130	9,5	64	4,2	1,3	1,9
6С53Н	6,3	130	120	9	—	—	68	Н	75	4,2	1,6	1,5
6С62Н	6,3	130	120	0,4	—	—	—	1,7	90	2,7	1,3	2,4

Сверхминиатюрные металлокерамические лампы, называемые *нувисторами*, имеют высокую механическую прочность, устойчивы к воздействию повышенной температуры, обладают повышенной надежностью и экономичностью. Промышленностью выпускает нувисторы типов 6С51Н, 6С52Н, 6С53Н, 6Э12Н, 6П37Н и др.

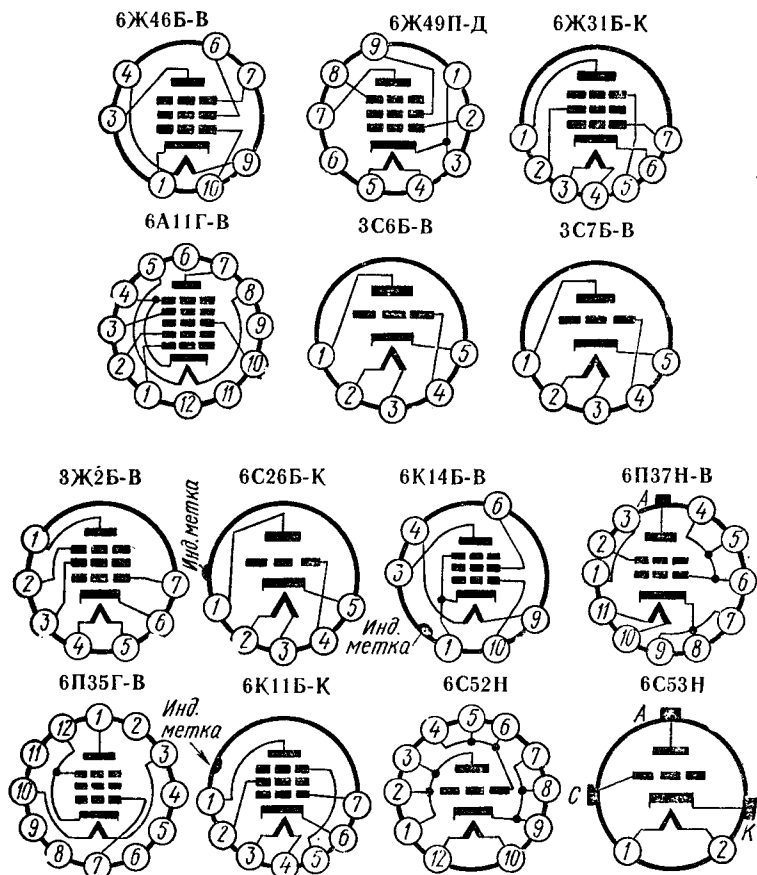
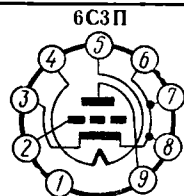


Рис. 2.3. Цоколевка широкополосных, надежных и долговечных ламп.

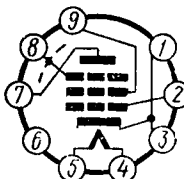
Сверхминиатюрные металлокерамические триоды и тетроды по существу являются лампами универсального применения. Однако наибольшее применение они находят в устройствах, требующих малых габаритов, повышенной экономичности, устойчивости к воздействию вибраций, ударов и повышенных температур, низкого уровня шумов. Нувисторы применяются для усиления и генерирования колебаний высокой частоты, преобразования частоты, усиления постоянного тока. Благодаря низкому уровню собственных шумов их выгодно использовать в высокочувствительных и широкополосных усилителях низкой частоты.

Параметры нувисторов приведены в табл. 2.13, их цоколевка показана на рис. 2.3.

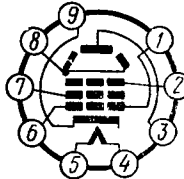
При измерении очень малых токов (10^{-12} ... 10^{-15} А) в схемах усилителей широко применяются специальные *электрометрические лампы*. Основной особенностью электрометрических ламп является минимальная величина сеточного тока. Лампы выпускаются как миниатюрной, так и сверхминиатюрной конструкции. Анодное



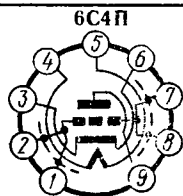
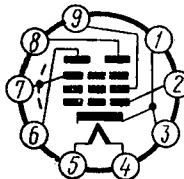
6Ж11П



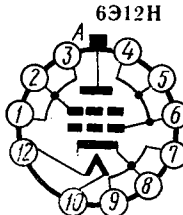
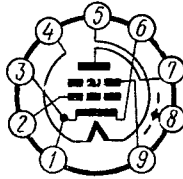
6Ж44П



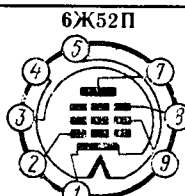
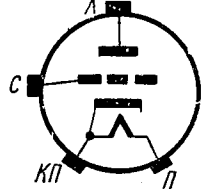
6Ж43П-Е



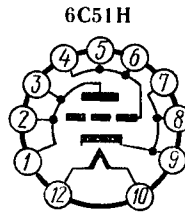
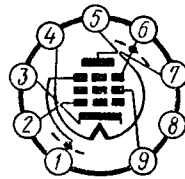
6Э6П-Е



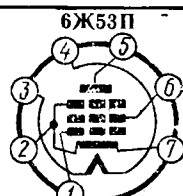
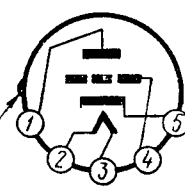
6C17К-В



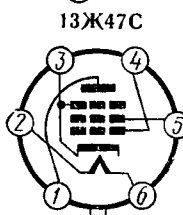
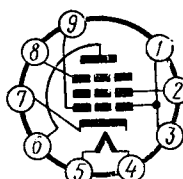
6П15П



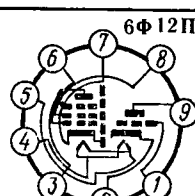
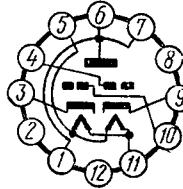
6C27Б-К



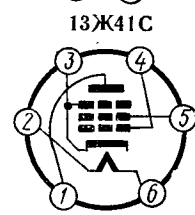
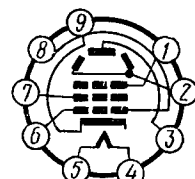
6Ж20П



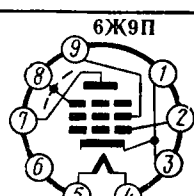
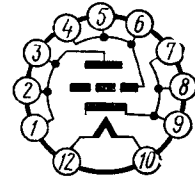
6C46Г-В



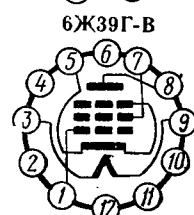
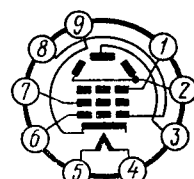
6Ж21П



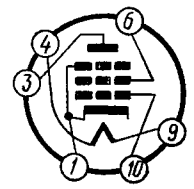
6C62Н



6Ж22П



6Ж45Б-В



Индикаторная метка

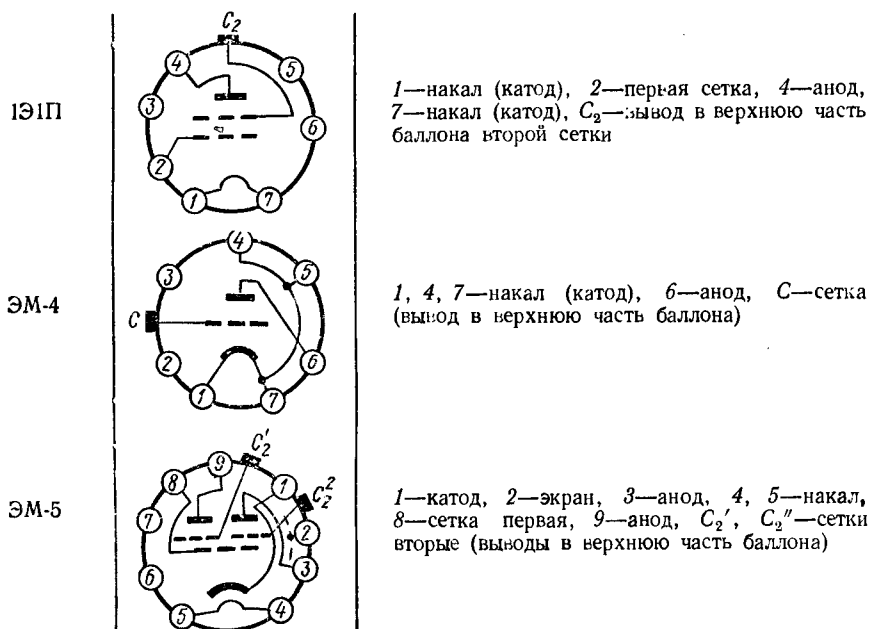
напряжение электрометрических ламп составляет не более 10 В. Крутизна характеристики обычных электрометрических ламп меньше 0,1 мА/В при анодном токе 0,1...0,4 мА. Применение катодной сетки позволяет увеличить крутизну характеристики. Электрометрические лампы имеют малое значение коэффициента усиления и являются достаточно экономичными. Параметры электрометрических ламп приведены в табл. 2.14, цоколевка — в табл. 2.15.

Табл. 2.14. Параметры электрометрических ламп

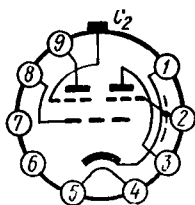
Тип лампы	U_H , В	I_H , мА	U_a (U_{c2}), В	I_a , мкА	S , мА/В	μ	I_c , А
1Э1П ¹⁾	1,0	46	6	100	0,05	1,3	$7 \cdot 10^{-14}$
2Э2П ²⁾	2,0	55	6	45	0,022	1,3	$8 \cdot 10^{-14}$
ЭМ-4 ³⁾	1,3	24	8	200	0,08	2,2	$7 \cdot 10^{-14}$
ЭМ-5 ²⁾	3,15	115	5	85	0,05	1,1	$5 \cdot 10^{-15}$
ЭМ-6 ²⁾	4,5	76	5	75	0,045	1,1	$5 \cdot 10^{-15}$
ЭМ-7 ³⁾	1,0	18	7	150	0,08	1,5	$5 \cdot 10^{-14}$
ЭМ-8 ⁴⁾	6,3	100	15(15)	1800	0,8	30	$5 \cdot 10^{-11}$
ЭМ-10 ⁵⁾	0,7	16,5	9(9)	3	—	—	$9 \cdot 10^{-15}$
ЭМ-11 ¹⁾	6,3	100	18(6)	475	0,235	—	—
ЭМ-12 ¹⁾	6,3	120	15(15)	350	0,6	40	$1 \cdot 10^{-11}$

¹⁾ Тетрод; ²⁾ двойной тетрод; ³⁾ триод; ⁴⁾ полуэлектрометрический пентод; ⁵⁾ пентод.

Табл. 2.15. Цоколевка электрометрических ламп

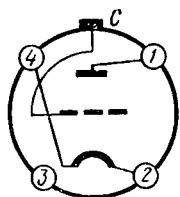


ЭМ-6



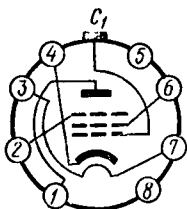
1—катод, 2—сетка вторая, 3—анод, 4, 5—накал, 8—сетка первая, 9—анод, $C2'$ —сетка вторая (вывод в верхнюю часть баллона)

ЭМ-7



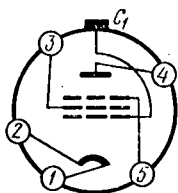
1—анод, 2, 4—накал (катод), C—сетка (вывод в верхнюю часть баллона)

ЭМ-8



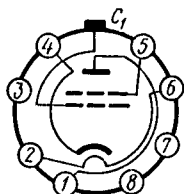
1—анод, 2—сетка третья, 3, 7—накал, 4—катод, 6—сетка вторая, $C1$ —сетка первая (вывод в верхнюю часть баллона)

ЭМ-10



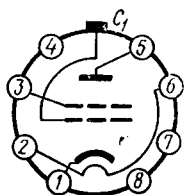
1, 2—накал (катод), 3—сетка вторая, 4—анод, 5—сетка третья, $C1$ —сетка первая (вывод в верхнюю часть баллона)

ЭМ-11



1—анод, 2, 6—накал, 4—катод, 5—сетка вторая, $C1$ —сетка первая (вывод в верхнюю часть баллона)

ЭМ-12



1—катод, 2, 6—накал, 3—сетка вторая, 5—анод, $C1$ —сетка первая (вывод в верхнюю часть баллона)

3. ГЕНЕРАТОРНЫЕ, МОДУЛЯТОРНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЛАМПЫ

3.1. Система обозначений и классификация ламп

В соответствии с ГОСТ 20412—75 генераторные, модуляторные и регулирующие лампы имеют следующие определения.

Генераторная лампа (ГЛ) — вакуумная электронно-управляемая лампа, предназначенная для генерирования и (или) усиления, а также умножения частоты высокочастотных колебаний.

Модуляторная лампа (МЛ) — вакуумная электронно-управляемая лампа, предназначенная для усиления низкочастотных колебаний или для коммутации энергии в импульсных модуляторах.

Регулирующая лампа (РЛ) — вакуумная электронно-управляемая лампа, предназначенная для работы в качестве регулирующего элемента в электронных стабилизаторах или регуляторах тока (напряжения).

Имеются также некоторые разновидности этих ламп: эндотрон, торпотрон и инжектрон.

Эндотрон — вакуумный электронный прибор, содержащий внутри оболочки хотя бы одну систему электродов генераторной лампы и хотя бы один УКВ или СВЧ колебательный контур.

Примечания: 1. Эндотрон выполняет функцию усилителя или генератора с ограниченным с двух сторон диапазоном частот. 2. В эндотроне могут быть использованы выводы и оболочка генераторной лампы. 3. На эндотроны распространяются режимы, параметры и характеристика генераторных ламп.

Торпотрон — генераторная лампа СВЧ диапазона с лучевой системой электродов, рассчитанной на работу с тормозящим полем в выходном зазоре взаимодействия, и резонатором, подключенным к этому зазору. (В торпотроне используется электронная перестройка частоты.)

Инжектрон — трехэлектродная импульсная модуляторная или регулирующая лампа со скрещенными электрическим и магнитным полями в промежутке между катодом и управляющим электродом.

В зависимости от числа электродов различают *генераторные* (модуляторные, регулирующие) триоды, тетроды, пентоды.

По способу оформления оболочки различают следующие генераторные (модуляторные, регулирующие) лампы: *металлостеклянные, металлокерамические, металлостекляннокерамические* и лампы в *стеклянном оформлении*.

Система обозначений этих ламп включает четыре элемента. *Первым и вторым элементами* являются буквы:

ГК — для генераторных ламп непрерывного действия с предельной частотой до 30 МГц;

ГУ — для генераторных ламп непрерывного действия с предельной частотой от 30 до 300 МГц;

ГС — для генераторных ламп непрерывного действия с предельной частотой свыше 300 МГц;

ГИ — для генераторных ламп импульсного действия;

ГМ — для модуляторных ламп непрерывного действия;

ГМИ — для модуляторных ламп импульсного действия;

ГП — для регулирующих ламп непрерывного действия;

ГПИ — для регулирующих ламп импульсного действия.

Третьим элементом является число, обозначающее порядковый номер типа прибора.

Четвертый элемент — буква, обозначающая характер принудительного охлаждения (для всех ламп):

А — водяное;

Б — воздушное;

П — испарительное (только для генераторных ламп).

В зависимости от рассеиваемой анодом мощности указанные лампы делятся на лампы малой (до 25 Вт), средней (свыше 25 Вт до 1 кВт), большой (свыше 1 кВт до 200 кВт) и сверхбольшой (свыше 200 кВт) мощности.

Приведенные в справочнике лампы можно классифицировать по их основному назначению следующим образом:

ГП-5 — триод средней мощности для стабилизации высокого напряжения в цветных телевизионных приемниках;

ГП-9 — высоковольтный регулирующий триод для работы в качестве управляющей лампы в схемах стабилизации напряжения;

ГУ-42 — генераторный двойной триод для работы в качестве генератора и усилителя высокочастотных колебаний в диапазоне частот до 60 МГц;

ГУ-50 — генераторный лучевой пентод для работы в качестве генератора и усилителя высокочастотных колебаний на частотах до 120 МГц;

ГС-11 — маломощный генераторный триод для работы в качестве генератора и усилителя высокочастотных колебаний сантиметрового и дециметрового диапазонов волн;

ГМ-70 — модуляторный триод для работы в качестве усилителя колебаний низкой частоты в схемах модуляторов;

ГМИ-70 — импульсный модуляторный лучевой тетрод для работы в импульсных модуляторах.

3.2. Основные параметры и характеристики ламп

Для генераторных ламп характерны недонапряженный и перенапряженный режимы работы.

В недонапряженном режиме при подаче на входные выводы гармонического сигнала вершина высокочастотного импульса тока анода имеет выпуклую форму.

В перенапряженном режиме при подаче на входные выводы гармонического сигнала вершина высокочастотного импульса тока анода имеет участок вогнутой формы.

Генераторные лампы могут работать в режимах самовозбуждения, усиления мощности и умножения частоты. Для модуляторных ламп характерен режим коммутации импульсной мощности.

Импульсный режим работы заключается в том, что колебания происходят в течение очень коротких промежутков времени, разде-

ленных большими интервалами, когда колебаний нет. Основными параметрами импульсного режима являются: длительность импульса колебаний; интервал (пауза) между соседними импульсами; период следования (повторения) импульсов; частота следования импульсов; скважность импульсов и коэффициент заполнения.

Особенностью импульсного режима является то обстоятельство, что средняя мощность, выделяющаяся на аноде и определяющая его нагрев, значительно меньше импульсной мощности. Поэтому аноды ламп и сами лампы имеют небольшие размеры, хотя их полезная импульсная мощность является большой, достигая значений тысяч киловатт. Однако для обеспечения импульсной мощности необходимо иметь большой катодный ток, обеспечивающий большое значение анодного тока. Так, напряжение анода импульсных генераторных ламп относительно малой мощности (3...5 кВт) равно 5...8 кВ, а в более мощных лампах — 20...30 кВ. Такие напряжения предъявляют высокие требования к вакууму в лампе, а также к конструкции электродов и их выводов. Для достижения больших значений импульса анодного тока положительное напряжение, а следовательно, и ток сетки имеют большое значение. Почти все импульсные генераторные лампы являются триодами.

Импульсные модуляторные лампы служат для управления работой импульсных генераторов. Они работают в ключевом режиме «выключено — включено». В анодной цепи этих ламп проходят кратковременные импульсы постоянного тока. Импульсные модуляторные лампы должны выдерживать большие анодные напряжения в запертом состоянии и пропускать большой анодный ток при малом анодном напряжении в открытом состоянии. Модуляторные лампы в отличие от генераторных являются относительно низкочастотными. В качестве импульсных модуляторных ламп применяются специальные импульсные триоды с катодом, имеющим большую рабочую поверхность. Помимо триодов для этих же целей применяют также тетроды (например, ГМИ-3).

Характеристики импульсных тетродов аналогичны характеристикам лучевых тетродов. В этих лампах динаatronный эффект устраняется посредством увеличения расстояния между анодом и экранирующей сеткой. На практике в качестве импульсных модуляторных ламп часто применяют обычные усилительные лампы — триоды, лучевые тетроды и пентоды. Подавая на эти лампы повышенные импульсные напряжения, удается получить от их значительные токи и выходную мощность. Например, если в непрерывном режиме анодный ток лампы 6Н6П не превосходит значений 40...50 мА, то в импульсном режиме при больших положительных сеточных напряжениях от этой лампы удается получить ток 3...4 А. Но это возможно в том случае, если длительность импульсов будет не более 10...15 мкс при скважности не менее 100.

Основными параметрами генераторных, модулирующих и управляющих ламп являются следующие.

Входная мощность генераторной лампы $P_{вх}$ — мощность, подводимая ко входу лампового каскада.

Мощность возбуждения генераторной (модуляторной) лампы $P_{\text{воз}}$ — часть входной мощности, затрачиваемая во входном зазоре взаимодействия генераторной (модуляторной) лампы. Величина расчетная (непосредственно не измеряемая).

Выходная мощность генераторной лампы $P_{\text{вых}}$ — мощность, отдаваемая генераторной лампой во внешнюю высокочастотную цепь. Величина расчетная (непосредственно не измеримая).

Полезная выходная мощность генераторной лампы $P_{\text{н}}$ — часть выходной мощности генераторной лампы, которая поступает в нагрузку лампового каскада и не отражается ею.

Мощность, коммутируемая импульсной модуляторной лампой — мощность, переключаемая импульсной модуляторной лампой в течение импульса от накопителя в нагрузку.

Коэффициент усиления мощности генераторной лампы — отношение выходной мощности к мощности возбуждения генераторной лампы.

Коэффициент использования напряжения анода генераторной (модуляторной) лампы — отношение амплитуды переменного напряжения анода генераторной (модуляторной) лампы к напряжению питания анода.

Коэффициент усиления генераторной (модуляторной, регулирующей) лампы μ — отношение изменения напряжения анода или экранирующей сетки генераторной (модуляторной, регулирующей) лампы к изменению напряжения управляющей сетки или управляющего электрода, необходимого для сохранения неизменным тока анода или экранирующей сетки при постоянных напряжениях всех других электродов.

Крутизна анодно-сеточной характеристики генераторной (регулирующей) лампы S — отношение изменения тока анода генераторной (регулирующей) лампы к вызвавшему его изменению напряжения управляющей сетки или управляющего электрода при постоянных напряжениях анода и всех остальных электродов.

Входная емкость лампы — емкость между входными и остальными электродами лампы при заземленном выходном электроде.

Проходная емкость лампы — емкость между входным и выходным электродами при остальных электродах, соединенных вместе и заземленных.

Выходная емкость лампы — емкость между выходными и остальными электродами при заземленном входном электроде.

Промышленность выпускает различные типы генераторных триодов, лучевых тетродов и пентодов. Простота конструкции и охлаждения электродов триодов является причиной их широкого использования в качестве мощных генераторных ламп. Триоды с водяным охлаждением имеют полезную мощность до 500 кВт, с воздушным — до 100 кВт.

Генераторные лампы для усиления мощности низкой частоты (модуляторные лампы) являются также триодами. Они имеют левые анодно-сеточные характеристики и работают с заходом в область положительных сеточных напряжений.

Табл. 3.1. Параметры генераторных, модуляторных и регулирующих ламп

Тип лампы	U_H , В	I_H , А	U_a , кВ	I_a , А	$I_{с2}$, А	$U_{с2}$, кВ	$U_{с1}$, ($U_{зап.}$) В	S , мА/В	μ	P_a доп., Вт	$P_{с2}$ доп., Вт	$P_{вых.}$, Вт	$C_{вх.}$, пФ	$C_{вых.}$, пФ	$C_{прох.}$, пФ
ГП-5	6,3	0,21	30	0,002	—	—	—7,5 (—20)	0,65	2500	37,5	—	—	4	1,5	0,1
ГП-9	12,6	7,5	10	0,0012	—	—	—900	0,5	300	300	—	—	—	—	—
ГУ-42	6,3	2	600	0,04	0,0065	250	—175	4,5	—	40	6	—	11	5	0,05
ГУ-50	12,6	0,705	1	0,05	0,005	0,25	—40	4	—	40	5	0,075	14	9,15	0,1
ГС-11	6,3	0,29	175	0,01	—	—	—0,75	9	122,5	1,5	—	—	2,8	0,015	1,3
ГМ-70	20	3,1	1,5	0,08	—	—	—	6	6,7	125	—	—	8	4	12
ГМИ-7	26	5,9	2,75	52 ¹⁾	0,4	2	—900	—	—	125	20	—	80	11,5	0,9

¹⁾ В импульсе.

Табл. 3.2. Цоколевка генераторных, модуляторных и регулирующих ламп

Тип лампы	Номера и обозначения выводов								
	1	2	3	4	5	6	7	8	A (A_1 , A_2)
ГП-5	катод	—	катод	накал	накал	—	катод	сетка	анод
ГП-9	катод, накал	катод, накал	сетка	анод	—	—	—	—	—
ГУ-42	сетка первая ²⁾	сетка вторая ¹⁾	катод, луче- образующие пластины	ср. точка нити накала	сетка первая	накал	катод	накал	(аноды)
ГУ-50	катод, накал	сетка первая	сетка вторая	катод, накал	сетка третья	анод	экран	накал	—
ГС-11 ²⁾	—	—	—	—	—	—	—	—	анод
ГМ-70	катод	анод	сетка	катод	—	—	—	—	—
ГМИ-7 ³⁾	сетка вторая	сетка первая	сетка вторая	сетка первая	накал	—	—	—	анод

¹⁾ Для одной половины лампы; ²⁾ С — сетка, КП — катод, подогреватель, П — подогреватель; ³⁾ КП — катод, подогреватель.

Генераторные лампы, предназначенные для работы в схемах генераторов и усилителей мощности высоких частот, имеют правые характеристики. Лампы малой мощности, предназначенные для работы на высоких частотах, являются обычно пентодами или лучевыми тетрами. Генераторные лампы мощностью более 1 кВт в большинстве случаев являются триодами.

Параметры ряда генераторных, модуляторных и регулирующих ламп малой и средней мощности приведены в табл. 3.1 (условные обозначения пояснены в 1.4), цоколевка — в табл. 3.2.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПРИБОРЫ

4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

4.1. Типы и определения

Электронно-лучевым называют электронный электровакуумный прибор, в котором используется поток электронов, сконцентрированный в форме луча или пучка лучей (ГОСТ 13820—68).

В зависимости от способа управления отклонениями электронного луча различают электронно-лучевые приборы с *магнитным и электростатическим управлением*.

Электронно-лучевой прибор, имеющий форму трубки, вытянутой в направлении луча, обычно называют *электронно-лучевой трубкой*.

В зависимости от числа используемых лучей различают одно-, двух- и многолучевой электронные приборы, а также приборы с пучком лучей.

Электронно-графическим электровакуумным прибором называют электронно-лучевой прибор, предназначенный для получения оптического изображения на экране под действием электронов.

Телевизионной трубкой (кинескопом) называют электронно-графический электровакуумный прибор, предназначенный для наблюдения на его люминесцирующем экране телевизионного изображения. Приемная телевизионная трубка, предназначенная для получения оптическим способом с ее экрана изображения на большой экран, называется *проекционной телевизионной трубкой*.

Осциллографической трубкой называют электронно-графический электровакуумный одно-, двух- или многолучевой прибор, предназначенный для наблюдения или регистрации изменений во времени быстро протекающих явлений.

Передающей телевизионной трубкой называют электронно-лучевой прибор, предназначенный для преобразования оптического изображения в ряд электрических телевизионных сигналов.

Передающую телевизионную трубку с односторонней мозаичной фоточувствительной мишенью и разверткой луча быстрых электронов называют *икonosкопом*.

Передающую телевизионную трубку с переносом электронного изображения, односторонней мишенью и разверткой луча быстрых электронов называют *икonosкопом с переносом изображения (суперикonosкопом)*.

Ортиконом называют передающую телевизионную трубку с фоточувствительной мишенью, разверткой луча медленных электронов и с накоплением заряда.

Ортиконом с переносом изображения (суперортиконом) называют передающую телевизионную трубку с переносом электронного изображения, двусторонней мишенью, умножением электронов посредством вторичной электронной эмиссии и разверткой луча медленных электронов.

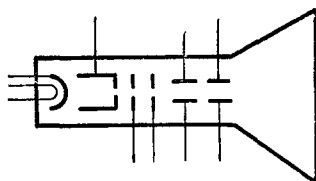
Передающую телевизионную трубку с фотопроводящей мишенью и разверткой луча медленных или быстрых электронов называют *видиконом*.

Скиатроном называют электронно-графический электровакуумный прибор с экраном, изменяющим прозрачность или цвет под воздействием электронного луча, предназначенный для получения оптического изображения в результате прохождения сквозь экран или отражения от него света от постороннего источника.

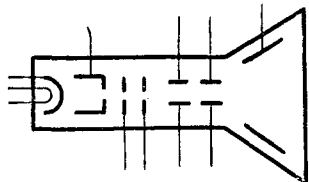
Условные графические обозначения электронно-лучевых трубок показаны в табл. 4.1.

Табл. 4.1 Условные графические обозначения электронно-лучевых трубок

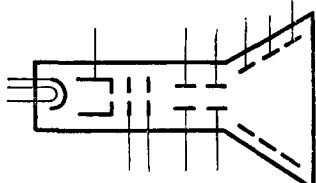
Трубка электронно-лучевая и кинескоп двуханодный с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением



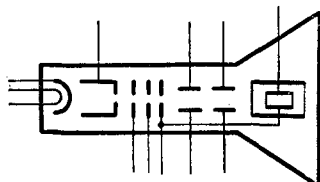
Трубка электронно-лучевая треханодная с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением



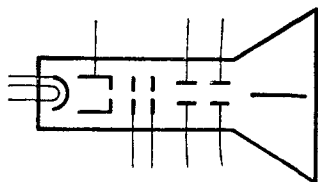
Трубка электронно-лучевая пятианодная с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением



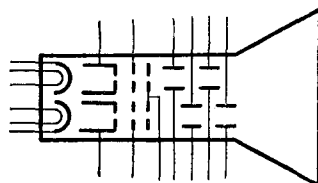
Трубка осциллографическая с электростатической фокусировкой и радиальным электростатическим отклонением при помощи коаксиальных конусов



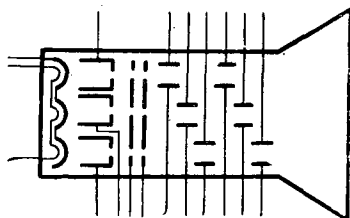
Трубка осциллографическая с электростатической фокусировкой и радиальным электростатическим отклонением при помощи штыря



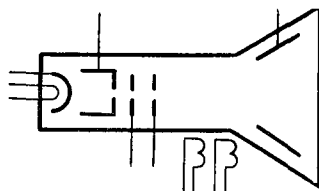
Трубка осциллографическая двухлучевая с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением



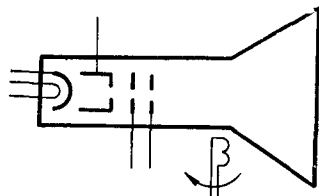
Трубка осциллографическая трехлучевая с электростатической фокусировкой и электростатическим отклонением



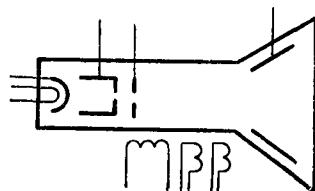
Кинескоп с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением



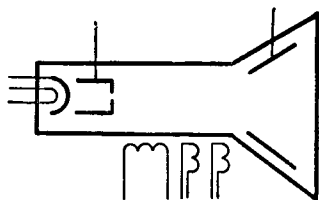
Трубка осциллографическая с электростатической фокусировкой и электромагнитным радиальным отклонением



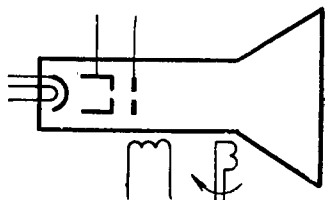
Трубка осциллографическая с электромагнитной фокусировкой и электромагнитным отклонением



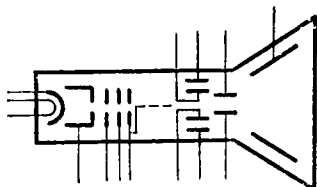
Кинескоп с электромагнитной фокусировкой и электромагнитным отклонением



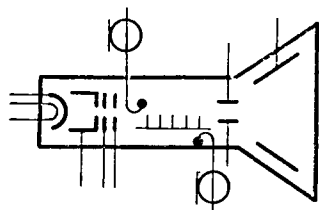
Трубка осциллографическая с электромагнитной фокусировкой и электромагнитным радиальным отклонением



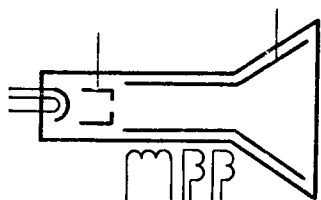
Трубка осциллографическая двухлучевая с одной электронно-оптической системой



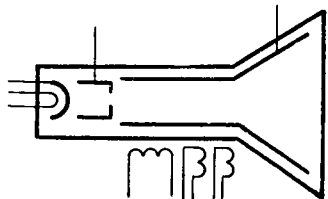
Трубка осциллографическая с электростатическим отклонением и дополнительным ускорением электронов луча по типу бегущей волны



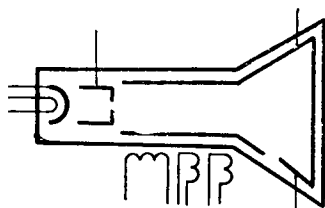
Скиатрон с внешним обесцвечиванием экрана



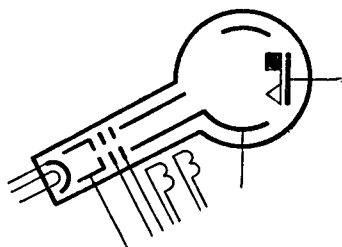
Скиатрон с внешним обесцвечиванием экрана пропусканием тока



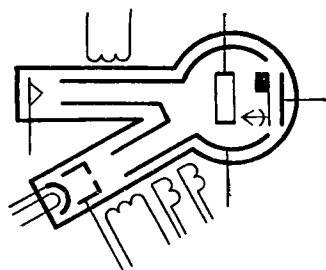
Скиатрон с внутренним обесцвечива-
нием экрана



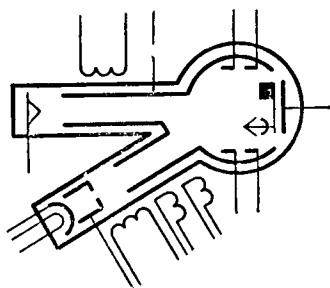
Иконоскоп



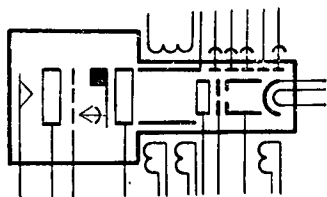
Супериконоскоп



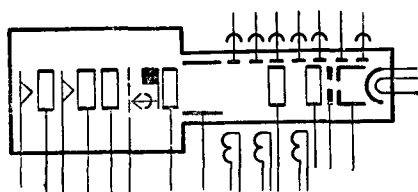
Супериконоскоп с несимметричными
корректирующими электродами



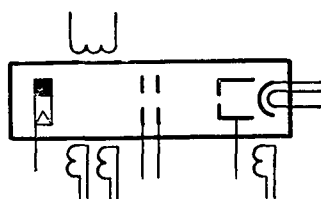
Суперортикон



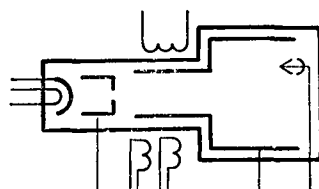
Суперортикон с электронно-оптическим преобразователем



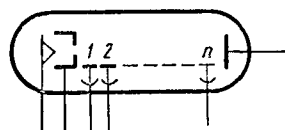
Видикон с двумя анодами



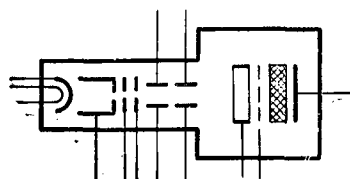
Моноскоп



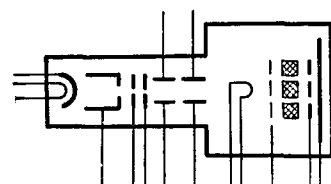
Диссектор



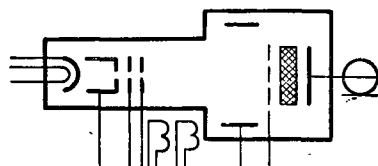
Трубка запоминающая с барьерной сеткой



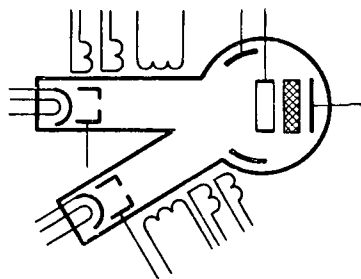
Трубка запоминающая с видимым изображением



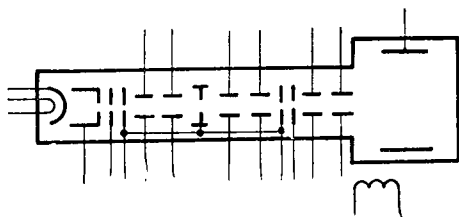
Потенциалоскоп вычитающий



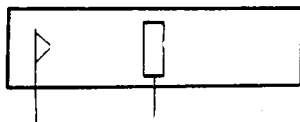
Графekon



Трубка знакопечатающая



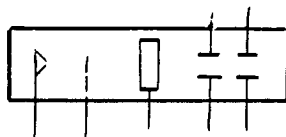
Преобразователь изображения электронный



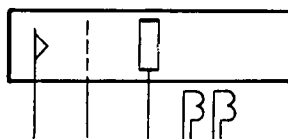
Преобразователь изображения электронный с электронным затвором



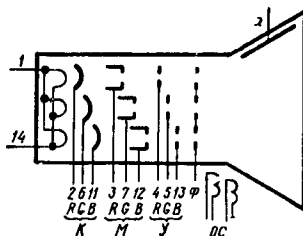
Преобразователь изображения электронный с электронным затвором и разверткой изображения электростатической



электромагнитной



Кинескоп для цветного телевизора с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением луча



4.2. Система обозначений

В соответствии с ГОСТ 13393-67 система обозначений электронно-лучевых приборов включает четыре элемента. В табл. 4.2 приведены маркировка и обозначения некоторых типов электронно-лучевых приборов. Четвертый элемент маркировки определяет тип экрана. Цвет свечения и время послесвечения экрана определяются свойствами люминофора.

Табл. 4.2. Маркировка и обозначение электронно-лучевых приборов

Типы электронно-лучевых приборов	Элементы обозначения				Примеры обозначений
	первый	второй	третий	четвертый	
Осциллографические трубки и кинескопы с электростатическим управлением	Число, обозначающее величину диаметра или диагональ экрана, см	ЛО			22ЛО1А
Осциллографические трубки с электромагнитным управлением		ЛМ		Буква, обозначающая тип люминофора экрана ¹⁾	23ЛМЗС
Кинескопы с электромагнитным управлением		ЛК (лучевой кинескоп)	Число, обозначающее порядковый номер типа прибора		67ЛК2Б 59ЛК3Ц
Передающие телевизионные приборы	Л	И		Нет	ЛИ415
Запоминающие (накопительные) трубки	Л	Н		Нет	ЛН-4
Электронно-лучевые коммутаторы	Л	П		Нет	ЛП-5

Табл. 4.3. Цвета свечений некоторых люминофоров

Тип люминофора или смеси люминофоров	Преобладающая длина волны, нм	Цвет свечения
ZnS — Ag	450	Синий
60% ZnS + 40% CdS — Ag	530	Зеленый
ZnS — Cu	530	Зеленый
Zn ₂ SiO ₄ — Mn (виллемит)	525	Зеленый
50% ZnS + 50% CdS — Ag	575	Желтый
40% ZnS + 60% CdS — Ag	600	Оранжевый ближе к красному
CdS — Ag	740	Красный

Люминофорами называют соединения, обладающие способностью светиться под действием электронной бомбардировки. В качестве люминофоров используют различные соединения, но на-

¹ Обозначение четвертого элемента маркировки (тип экрана) приведено в табл. 4.4.

Табл. 4.4. Обозначения и свойства экранов электронно-лучевых трубок

Тип экрана	Покрытие	Свечение		Послесвечение		
		Цвет	Максимум спектральной характеристики, нм ¹⁾	Цвет	Максимум спектральной характеристики, нм	Время
А	Однослойное, тонкой структуры	Синий	450	—	—	Короткое
Б	Однослойное, тонкой структуры	Белый	460 и 570	—	—	Короткое
В	Двухслойное, грубой структуры	Белый	500 и 700	—	—	Среднее
В	Двухслойное, грубой структуры	Белый	440 и 560	Желтый	560	Длительное
Г	Бесструктурное вакуумное испарение	Фиолетовый	560 (поглощение)	Фиолетовый	560 (поглощение)	Очень длительное
Д	Однослойное, тонкой структуры	Голубой	440 и 520	Зеленый	520	Длительное
Е	Состоит из двух видов перемежающихся полос	Оранжевый	595	Оранжевый	595	Длительное
Е	Состоит из двух видов перемежающихся полос	Голубой	440 и 520	Зеленый	520	Длительное
Ж	—	Голубовато-зеленый	—	—	—	Очень короткое
И	Однослойное, тонкой структуры	Зеленый	520	—	—	Среднее
К	Двухслойное, грубой структуры	Розовый	440 и 600	Оранжевый	600	Длительное
Л	Однослойное, тонкой структуры	Синевато-фиолетовый	400	—	—	Очень короткое
М	Однослойное, тонкой структуры	Голубой	465	—	—	Короткое
П	Однослойное, тонкой структуры	Красный	630	—	—	Среднее
Р	—	Фиолетово-синий	—	—	—	Среднее
С	Однослойное, мелкозернистой структуры	Оранжевый	590	Оранжевый	590	Длительное
Т	Однослойное	Желтовато-зеленый	555	—	—	Очень короткое
У	Мелкозернистое, тонкой структуры	Светло-зеленый	530	—	—	Короткое
Ц	Мозаичное, точки из трех люминофоров	Синий	450	—	—	Короткое
Ц	Мозаичное, точки из трех люминофоров	Зеленый	520	—	—	Среднее
Ц	Мозаичное, точки из трех люминофоров	Красный	640	—	—	Среднее

¹⁾ нм — нанометр, 1 нм = 10⁻⁹ м.

Примечание. Время послесвечения условно делят на пять групп: очень короткое — длительность менее 10⁻⁵ с; короткое — от 10⁻⁵ до 10⁻² с; среднее — от 0,1 до 16 с; очень длительное — более 16 с.

ибольшее применение получили соединения типа сульфидов, активированных серебром, — сульфид кадмия CdS—Ag , сульфид цинка ZnS—Ag , а также окись цинка, активированная цинком, — ZnO—Zn и др.

Цвет свечения экрана зависит от типа применяемого люминофора и преобладающей длины волны в спектре излучения последнего.

Преобладающая длина волны (или значение максимума спектральной характеристики излучения) определяет цвет свечения экрана. Цвета свечения некоторых люминофоров и их смесей приведены в табл. 4.3.

Тип люминофора экрана определяется четвертым элементом (буквой) в системе обозначений. В табл. 4.4 приведены обозначения и свойства экранов электронно-лучевых трубок. В этой же таблице указано и время послесвечения. Для отдельных люминофоров время послесвечения имеет различные значения: от 10^{-7} до 0,1 с и больше.

Время послесвечения экрана — это интервал времени между моментом прекращения возбуждения экрана электронно-лучевым прибором и моментом спада яркости до определенного уровня. На практике длительностью послесвечения считают время, в течение которого яркость уменьшается до 0,05 от своего максимального значения.

5. ПАРАМЕТРЫ И ЦОКОЛЕВКА

5.1. Осциллографические трубки

К основным параметрам осциллографических трубок, приведенным в табл. 5.1, относятся следующие: чувствительность к отклонению, диаметр (или размер) рабочей части экрана, яркость и цвет свечения экрана, длительность послесвечения, емкость отклоняющих пластин и др. В таблице приведены параметры наиболее употребляемых осциллографических трубок с электростатическим отклонением луча.

Чувствительность к отклонению — это отношение величины смещения электронного пятна к вызвавшему его изменению отклоняющего напряжения (или тока).

Длительность послесвечения экранов осциллографических трубок колеблется в широком диапазоне значений. Так, например, для наблюдения однократных процессов используют трубки с длительным (несколько секунд и больше) послесвечением.

В таблице приведены также значения напряжений на электродах трубок. *Напряжением модуляции* называют величину напряжения на управляющем электроде трубки, которая вызывает изменение яркости свечения (или другого параметра) от уровня записания до заданного значения.

Цоколевка осциллографических трубок приведена в табл. 5.2.

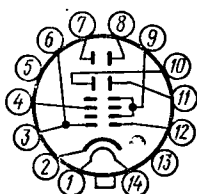
Табл. 5.1. Параметры осциллографических трубок

Термины параметров	ЗЛО1И	ЗЛО1И	ЗЛО4И	10ЛО2И	10ЛО101М	13ЛО10Д	13ЛО11А (У)	16ЛО2А (В, И)	16ЛО3И	22ЛО1А (В, И)	31ЛО33В
Чувствительность к отклонению, В/мм по оси У	4,55—5,5	5,9	0,77	4	1	0,5	0,22	1,67	1,67	1,67	4
по оси Х	5,56— —6,67	7,7	1,1	4,5	5,9	2	0,83	3,6	2,4	3,6	4,2
Размер (диаметр) рабочей части эк- рана, мм	(28)	30×40	40×60	(85)	10×15	40×90	60×80	40×100	70×130	38×114	(254)
Яркость свечения экрана, кд/м²	5	5	0,5	25	—	—	10, 60	25, 40, 50	10	30, 50, 50	60
Цвет свечения	зеленый	зеленый	желто- зеленый	зеленый	голубой, синий	голубо- вато-зе- леный	синий (А), светло- зеленый	синий (А), бе- лый (В), зеленый (И)	зеленый	синий (А), бе- лый (В), зеленый (И)	белый
Длительность пос- лесвечения	средняя	средняя	средняя	средняя	короткая	длитель- ная	короткая	короткая (А), дли- тельная (В), средняя (И)	средняя	короткая (А), дли- тельная (В), средняя (И)	длитель- ная
Ширина сфокуси- рованной линии, мм	0,4	0,4	0,55	0,5	0,07— —0,2	0,6	0,6	0,8 (И)	0,6	0,8	1,2

Длина трубки, мм		109	137	345	377	686	520	520	440	350	465	559
	$U_{\text{мод. зап. В}}$	—60	—60	—40	—80	—400... —50	—75	—60	—70	—45	—80	—140
Напряже- ние на электро- дах	$U_{a1}, \text{ В}$	50	90	50	450	—	250...600	1	500	290...450	500	1140
	$U_{a2}, \text{ кВ}$	0,5	1,2	0,7	2	1,4	1,8	1	2	1,5	2	4,3
	$U_{a3}, \text{ кВ}$	—	—	—	4	20	10	10	3,5	—	4	5,5
	$U_{\text{мод. В}}$	35	25	40	—	200 (имп.)	—	35	50	35	50	—
Емкость откло- няю- щих плас- тин, пФ	U_1-U_2	3	3	4	6	—	—	—	6	3	3,5	3,5
	U_1 — все пластины	8	8	6	6	—	—	7,3	7	10	6	15
	X_1-X_2	3	3	4,5	6	—	—	2,5	6	4	2,5	3,5
	X_1 — все пластины	10	8	9	—	—	—	5,8	9	15	5	15

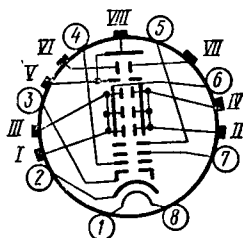
Табл. 5.2. Цоколевка осциллографических трубок

ЗЛОИИ



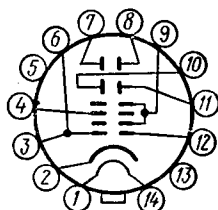
1, 14—подогреватель, 2—катод, 3—модулятор, 4—первый анод, 6, 12—модулятор, 7, 8—отклоняющие пластины, 9—второй анод, 10, 11—отклоняющие пластины

БЛОИИ



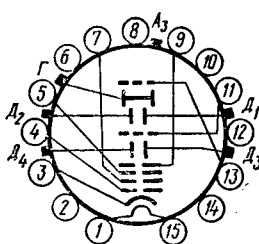
1, 14—подогреватель, 2—катод, 3—модулятор, 4—первый анод, 6, 12—модулятор, 7—отклоняющая пластина, 8—отклоняющая пластина Д2, 9—второй анод, 10—отклоняющая пластина, 11—отклоняющая пластина

8ЛО4И



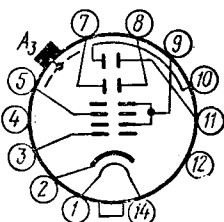
1, 2—подогреватель, 3—катод, 4—модулятор, 5—промежуточный электрод, 6—второй анод, 8—пластины бланкирующие, 9—электрод регулировки астigmatизма, 10—первый анод, 11—третий анод (фокусирующий), Д₁Д₂Д₃Д₄—отклоняющие пластины, А₄—четвертый анод

10ЛО2И



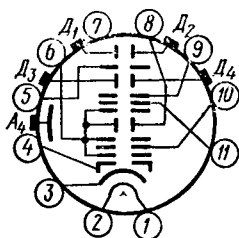
1, 15—подогреватель, 3—катод, 4—модулятор, 5—ускоряющий электрод, 7—пластины первой сигнальной системы (С1), 8—первый анод, 9—второй анод, 10—общая пластина первой и второй сигнальных систем (СО), 11, 13—временные пластины, 12—пластина второй сигнальной системы (С2), А₃—третий анод (последующий)

10ЛО101М

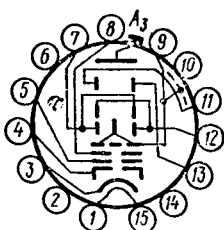


1, 7—подогреватель, 2—ускоряющий электрод, 3—катод, 6—модулятор, 1, 11—вход сигнальной системы, 11—выход сигнальной системы, 5—второй анод (металлический цилиндр) VI, VII—пластины временные, VIII, IX—третий анод (последующий)

13ЛО10Д

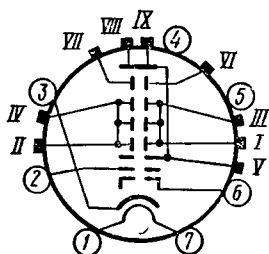


1, 8—подогреватель, 2—катод, 3—модулятор, 4—ускоряющий электрод, 5—второй анод, 6—корректирующий электрод сигнальной системы, 7—первый анод, 1, II—вход сигнальной системы, III, IV—выход сигнальной системы, V—электрод экранирующий, VI, VII—временная система (пластины B_1B_2), VIII—третий анод

13ЛО11А
13ЛО11У

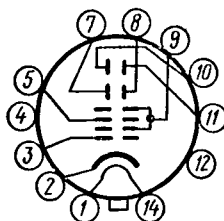
1, 15—подогреватель, 3—катод, 4—модулятор, 5—первый анод, 7—ускоряющий электрод, 9—второй анод, 11—экран пластин D_3D_4 , 13—сетка, D_1D_2 —верхние отклоняющие пластины, D_3D_4 —нижние отклоняющие пластины, A_3 —третий анод, Г—графитовое покрытие

13ЛО36В

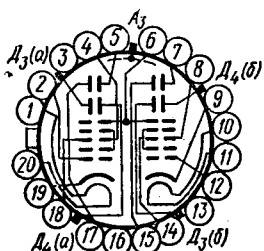


1, 14—подогреватель, 2—катод, 3—модулятор, 5—первый анод, 7, 8—отклоняющие пластины D_3D_4 , 9—второй анод, 10, 11—отклоняющие пластины D_2D_1 , A_3 —третий анод

16ЛОЗИ

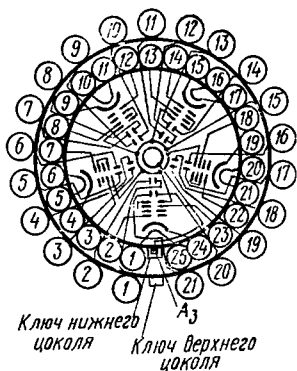


1, 14—подогреватель, 2—катод, 3—модулятор, 5—первый анод, 7, 8—отклоняющие пластины, 9—второй анод, 10, 11—отклоняющие пластины

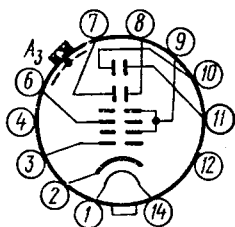
16ЛО2А
16ЛО2В
16ЛО2И

1, 20—подогреватель (а), 2—модулятор (а), 4—второй анод (а), 5, 7—отклоняющие пластины D_1 (а) D_1 (б), 6—второй анод (общий), 8—первый анод (б), 9—катод (б), 10, 11—подогреватель (б), 12—модулятор (б), 14—второй анод (б), 15, 17—отклоняющие пластины D_2 (б) D_2 (а), 18—первый анод (а), 19—катод (а), D_3 (а) D_3 (б) D_4 (а) D_4 (б)—отклоняющие пластины, A_3 —третий анод

22ЛО1А
22ЛО1В
22ЛО1И



31.ДО33В



Нижний цоколь: 1, 25—подогреватель (а), 2—модулятор (а), 3—первый анод (б), 4—катод (б), 5, 6—подогреватель (б), 7—модулятор (б), 8—первый анод (с), 9—катод (с), 10, 11—подогреватель (с), 12—модулятор (с), 13—первый анод (с), 14—модулятор (с), 15—катод (с), 16, 17—подогреватель (с), 18—первый анод (д), 19—катод (д), 20, 21—подогреватель (д), 22—модулятор (д), 23—первый анод (а), 24—катод (а). Верхний цоколь: 1 ... 14, 16 ... 21—отклоняющие пластины соответственно $D_2(a)$, $D_1(a)$, $D_2(b)$, $D_1(b)$, $D_3(b)$, $D_4(b)$, $D_2(c)$, $D_1(c)$, $D_3(c)$, $D_4(c)$, $D_2(d)$, $D_1(d)$, $D_3(d)$, $D_4(d)$, 15—второй анод, A_3 —третий анод.

1, 14—подогреватель, 2—катод, 3—модулятор, 5—первый анод, 7, 8—отклоняющие пластины D_3D_4 , 9—второй анод, 10, 11—отклоняющие пластины D_2D_1 , A_3 —третий анод

5.2. Приемные телевизионные трубки (кинескопы)

К основным параметрам кинескопов относятся следующие: яркость, угол отклонения, разрешающая способность и значения напряжений на электродах.

Яркость свечения люминофора зависит от его состава, технологии нанесения и условий возбуждения. При высоких анодных напряжениях с целью повышения эффективности экрана (яркости и светоотдачи) применяют металлизацию его поверхности со стороны, обращенной к электронному лучу.

Разрешающая способность характеризует способность кинескопа воспроизводить отдельно повторяющиеся линии (например, горизонтальный и вертикальный клинья испытательной таблицы) и мелкие детали. Этот параметр в значительной мере определяется развертывающей апертурой (диаметром электронного луча) кинескопа. Более полно разрешающую способность кинескопа характеризует его *контрастно-частотная характеристика*, показывающая зависимость контраста мелких деталей изображения от их размеров. Под *контрастом* понимают отношение яркости наиболее светлых участков экрана к яркости его самых темных участков.

Кинескопы черно-белого изображения, рекомендуемые для применения ГОСТ 17793—72, должны иметь диагональ экрана 11, 16, 23, 31, 50, 61 и 67 см.

Табл. 5.3. Параметры кинескопов прямого видения

Параметры	11ЛК1Б	16ЛК1Б	23ЛК7Б	23ЛК8Б	40ЛК3Б	61ЛК1Б	67ЛК2Б	40ЛК4Ц	59ЛК3Ц
Напряжение накала, В	6,3	1,35	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Ток накала, А	0,3	0,3	0,6	0,55	0,3	0,3	0,3	0,9	0,9
Напряжение анода, кВ	9	9	8	15	12	16 ... 20	20	20	25
Напряжение фокусирующего электрода, В	0 ... 250	0 ... 450	—	—	0 ... 400	0 ... 400	0 ... 400	3300	4500
Напряжение ускоряющего электрода, В	300	300	—	—	400	400	400	250	400
Запирающее напряжение модулятора (отрицательное), В	15 ... 35	20	55 ± 25	100 ⁺⁵⁰ ₋₄₀	50 ⁺³⁰ ₋₂₀	150	150	135	400
Максимальное анодное напряжение, кВ	11	11	9	16,5	14	16 ... 20	17 ... 23	23	27,5
Максимальное напряжение фокусирующего электрода, В	600	600	—	—	700	500...1000	550...1100	4200	5500
Максимальное напряжение ускоряющего электрода, В	400	400	—	—	500	350 ... 700	200 ... 550	600	1000
Максимальный ток луча, мкА	50	60	100	50	150	350	350 ... 450	700 (трех лучей)	1000 (трех лучей)
Яркость, кд/м ²	260	150	35	50	100	140	150 ... 200	60	60
Угол отклонения луча, град	90	90	58	53	90	110	110	90	90
Разрешающая способность, линий	550	600	625	1000	600	600	550 ... 600	450	600
Диаметр горловины, мм	13	13	35	35	28,6	29,6	29,6	38	36,5

В табл. 5.3 приведены основные параметры кинескопов не только черно-белого, но и цветного изображения. Сюда вошли только трехлучевые кинескопы масочного типа, нашедшие исключительно широкое распространение несмотря на сложность в изготовлении и эксплуатации. В настоящее время промышленность осваивает выпуск более простых кинескопов для цветного телевидения как трехлучевых, так и однолучевых. Рекомендуемые размеры кинескопов для приемников цветного телевидения приведены в табл. 5.4.

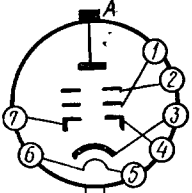
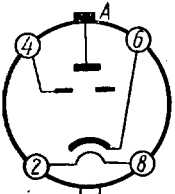
Табл. 5.4. Размеры кинескопов для цветного телевидения ¹

Номинальный размер экрана по диагонали, см	Угол отклонения луча по диагонали	Максимальный диаметр горловины баллона, мм
16	70°; 90°	20,0
25	90°	20,0
32	90°	20,0
		30,6
40 ²	90°	38,0
51	90°; 110°	30,6
		38,0
59	90°	38,0
61	110°	30,6
		38,0
67	110°	30,6
		38,0

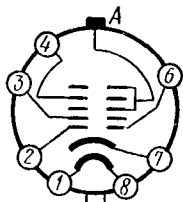
¹ Установлены ГОСТ 20277—74. ² Ограниченного применения.

В табл. 5.3 приведены основные параметры кинескопов для непосредственного воспроизведения изображений, т. е. тех, которые применяются в телевизионных приемниках. Исключение составляет кинескоп 23ЛК8Б, предназначенный для работы в приемных телевизионных устройствах повышенной разрешающей способности. Цоколевка кинескопов дана в табл. 5.5.

Табл. 5.5. Цоколевка кинескопов

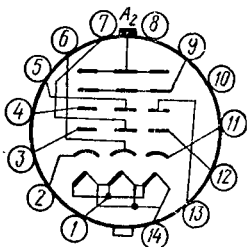
11ЛК1Б 16ЛК1Б		1—ускоряющий электрод, 2—фокусирующий электрод, 3—катод, 4, 7—модулятор, 5, 6—подогреватель, А—анод
23ЛК7Б 23ЛК8Б		2, 8 — подогреватель, 4 — модулятор, 6—катод, А—анод

40ЛКЗБ
61ЛК1Б
67ЛК1Б



1, 8 — подогреватель, 2 — модулятор, 3 — ускоряющий электрод, 4 — фокусирующий электрод, 6 — модулятор, 7 — катод, А — анод

40ЛК4Ц
59ЛК3Ц



1, 14 — подогреватель, 2 — катод (К), 3 — модулятор (К), 4 — ускоряющий электрод (К), 5 — ускоряющий электрод (З), 6 — катод (З), 7 — модулятор (З), 9 — первый анод (фокусирующий электрод), 11 — катод (С), 12 — модулятор (С), 13 — ускоряющий электрод (С), А₂ — второй анод

Кроме указанных кинескопов, промышленность выпускает проекционные и кинескопы типа «бегущий луч» для считывания (записи) информации с фотопленок (например, используемых в телекинопроекторах для демонстрации кинофильмов по телевидению).

ИОННЫЕ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ

6. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

6.1. Классификация и система условных обозначений

Ионным электровакуумным прибором (газо-разрядным прибором) называют электровакуумный прибор с электрическим разрядом в газе или парах (ГОСТ 13820—68). В зависимости от вида электрического разряда различают: *приборы дугового разряда, приборы тлеющего разряда* и др.

Наполнителями баллонов ионных приборов являются инертные газы, пары ртути или водород. Давление газа в баллоне обычно находится в пределах от 0,1 до 0,001 Тор. Основой получения носителей заряда в ионных приборах является ионизация наполнителя. При ионизации возникают новые носители заряда — электроны и ионы. Ток в ионном приборе создается за счет движения электронов к аноду, а положительно заряженных ионов — к катоду.

Различают следующие виды электрических разрядов в газе.

Несамостоятельный разряд — электрический разряд, для поддержания которого требуется образование в разрядном промежутке заряженных частиц под действием внешних факторов. Под внешними факторами подразумеваются внешние воздействия на газ и электроды разрядного промежутка, увеличивающие концентрацию заряженных частиц в нем.

Кратковременный электрический разряд, длившийся в течение промежутка времени, сравнимого или меньшего, чем постоянная времени процесса в разрядном промежутке, называется *импульсным разрядом*.

Самостоятельный разряд — электрический разряд, не требующий для своего поддержания образования в разрядном промежутке заряженных частиц за счет действия внешних факторов.

Темный разряд — электрический разряд, при котором электрическое поле в разрядном промежутке определяется в основном потенциалами и положением всех ограничивающих разряд поверхностей и пренебрежимо мало искажается объемными зарядами и при котором отсутствует свечение.

Тлеющий разряд — самостоятельный разряд, при котором электрическое поле в разрядном промежутке определяется в основном величиной и расположением объемных зарядов и который характеризуется наличием катодного падения потенциала, значи-

тельно большего, чем ионизационный потенциал газа, а также испусканием электронов катодом в основном под действием ударов о него тяжелых частиц.

Коронный разряд — самостоятельный электрический разряд, при котором сильно неоднородное электрическое поле заметно искажено объемными зарядами ионов вблизи электродов (где происходит ионизация и возбуждение газа).

Дуговой разряд — самостоятельный электрический разряд, при котором электрическое поле в разрядном промежутке определяется в основном величиной и расположением в нем объемных зарядов и который характеризуется малым катодным падением потенциала (порядка или меньше ионизационного потенциала газа), а также интенсивным испусканием электронов катодом в основном благодаря термоэлектронной или электростатической эмиссии.

Искровой разряд (искра) — электрический импульсный разряд в форме светящейся нити, происходящий при высоком давлении газа и характеризующийся большой интенсивностью спектральных линий ионизированных атомов или молекул.

Возникновение электрического разряда — процесс, происходящий в разрядном промежутке при появлении электрического тока в его цепи.

Прекращение электрического разряда — процесс, происходящий в разрядном промежутке при прекращении электрического тока в его цепи. Термины «возникновение электрического разряда» и «прекращение электрического разряда» могут быть сохранены в случае перехода разряда из одной формы в другую с добавлением после слов «возникновение» и «прекращение» названия формы, например: «возникновение дугового электрического разряда».

Восстановление состояния разрядного промежутка — наступающий после прекращения электрического разряда процесс восстановления в разрядном промежутке состояния, бывшего в нем до возникновения разряда.

Ионизация газа — процесс возникновения свободных заряженных частиц в газе.

Деионизация газа — процесс уменьшения концентрации свободных заряженных частиц в газе.

Диффузия заряженных частиц — перемещение заряженных частиц в направлении уменьшающейся их концентрации вследствие теплового движения этих частиц.

Обозначение ионных приборов состоит из букв и цифр. *Первые* буквы обозначают:

ТХ — тиратроны тлеющего разряда (с холодным катодом);

ТХИ — тиратроны тлеющего разряда импульсные;

СГ — стабилизаторы (стабилизаторы напряжения);

ИН — индикаторы тлеющего разряда;

А — декатроны коммутаторные;

ОГ — декатроны счетные.

После букв стоит *число*, которое указывает порядковый номер прибора.

У приборов тлеющего разряда (стабилитронов, тиратронов) третьим элементом обозначения является буква, указывающая на конструктивное оформление прибора (например, СГ16П):

Б — в стеклянном баллоне диаметром от 6 до 10,5 мм;

Г — в стеклянном баллоне диаметром свыше 10,5 мм;

П — в стеклянном баллоне диаметром 19 или 22,5 мм;

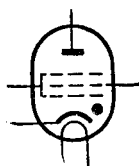
С — в стеклянном баллоне диаметром более 22,5 мм;

К — в керамическом баллоне.

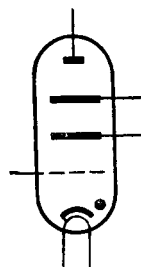
Условные графические обозначения ионных приборов (ГОСТ 2.731—68) показаны в табл. 6.1.

Табл. 6.1. Условные графические обозначения ионных приборов

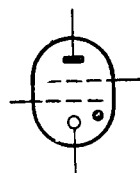
Тиратрон с тремя сетками



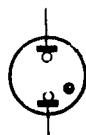
Тиратрон секционированный



Тиратрон с холодным катодом (тлеющего или дугового разряда)



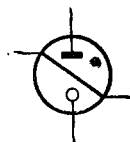
Индикатор тлеющего разряда (неоновая лампа)



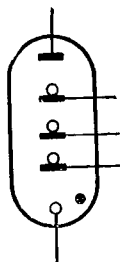
Стабилитрон



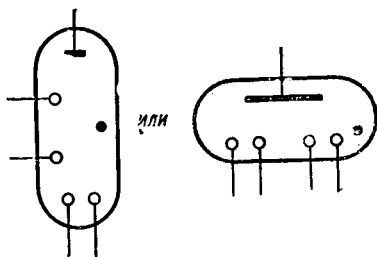
Стабилитрон с защитной перемычкой



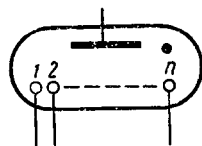
Стабилитрон многоэлектродный



Декатрон счетный



Декатрон коммутаторный



6.2. Определения электрических параметров ионных приборов тлеющего разряда

Рассмотрим параметры ионных приборов тлеющего разряда.

Угол обзора индикатора тлеющего разряда — максимальный угол, образованный нормалью к центру воспроизводимого знака или изображения и направлением на наблюдателя, при котором наблюдатель с нормальным зрением может безошибочно читать изображение в условиях внешней освещенности и с заданного расстояния.

Коэффициент пересчета счетного прибора тлеющего разряда — число входных управляющих импульсов, приходящихся на один выходной импульс, снимаемый с индикаторного катода счетного прибора тлеющего разряда при счете с нуля.

Амплитуда импульса напряжения сброса счетного прибора тлеющего разряда — амплитуда напряжения сброса, при которой гарантируется перенос разряда в разрядный промежуток анод — индикаторный катод счетного прибора тлеющего разряда.

Ток индикации — значение тока в цепи катода, обеспечивающее надежное восприятие знака.

Ток подготовительного разряда $I_{\text{подг}}$ — значение тока в цепи вспомогательного электрода, при котором возникает разряд в основном разрядном промежутке прибора.

Максимальный ток анода $I_{\text{а, макс}}$ — максимальное значение тока в цепи анода, при котором сохраняется работоспособность прибора.

Напряжение возникновения разряда $U_{\text{воз}}$ — наименьшее напряжение между электродами, достаточное для возникновения разряда данного вида.

Напряжение поддержания разряда $U_{\text{под}}$ — напряжение между анодом и катодом газоразрядного прибора во время протекания тока через прибор.

Время запаздывания возникновения разряда $\tau_{\text{зап}}$ — интервал времени от момента приложения напряжения к разрядному промежутку анод — катод и моментом возникновения разряда.

Прямое напряжение анода $U_{\text{а}}$ — положительное напряжение анода относительно катода.

Амплитуда прямого напряжения анода $U_{\text{а, макс}}$ — максимальное положительное напряжение анода относительно катода.

Амплитуда входного сигнала тиратрона $U_{\text{гх, мин}}$ — минимальная амплитуда импульсного положительного напряжения сетки, необходимая для возникновения разряда в основном разрядном промежутке при заданных напряжениях на других электродах тиратрона.

Время восстановления электрической прочности $\tau_{\text{восст}}$ — интервал времени, за который после прекращения разряда напряжение пробоя восстанавливается до заданного значения от своего номинального значения.

Среднее значение анодного тока $I_{\text{а, ср}}$.

6.3. Тиратроны тлеющего разряда

Тиратроном тлеющего разряда называют управляемый ионный электровакуумный прибор тлеющего разряда с холодным катодом, в котором при помощи одного или нескольких управляющих электродов обеспечивается управление моментом возникновения разряда. Катод тиратрона имеет цилиндрическую форму, анод выполнен в виде стержня. Сетка в виде диска с отверстиями служит для управления моментом возникновения тлеющего разряда в тиратроне. Если напряжение анода меньше напряжения возникновения разряда и управляющее напряжение отсутствует, разряд в приборе не возникает. При подаче на сетку положительного управляющего напряжения между сеткой и катодом возникает вспомогательный тихий (темный) разряд, способствующий возникновению тлеющего разряда между анодом и катодом. Сетки двухсеточного тиратрона выполнены в виде пластин с отверстиями. В таких тиратронах осуществляется не токовое, а потенциальное управление

Табл. 6.2. Параметры тиратронов тлеющего разряда

Тип тиратрона	$U_{\text{воз}}, \text{В}$	$U_{\text{а}}, \text{В}$	$\tau_{\text{зап}}, \text{С}$	$U_{\text{вх}}, \text{мин}, \text{В}$	$I_{\text{подг}}, \text{мкА}$	$\tau_{\text{восст}}, \text{мкс}$	$I_{\text{а}}, \text{макс. мА}$	$I_{\text{а}}, \text{ср. мА}$	$U_{\text{а}}, \text{макс. В}$
ТХ6Г	285	140	10	120	50	80 ... 100	2	1	300
ТХ7Г	285	140	10	120	65 .. 85	40 ... 150	2	2	300
ТХ8Г	285	140	10	100	100	50 ... 100	2	1	300
ТХ9Г	285	140	10	100	100	60 ... 150	400	8	300
ТХ11Г	200	125	—	35	—	—	10	—	230
ТХ12Г	250	160	10	75	—	—	100	10	300
ТХ13Г	180	120	1	50	50	<5	5	1	220
ТХ16Б	220	160	—	— (0,8 ... 2,2)	300...600	—	5	1	260
ТХ17А	220	180 ... 260	—	— (6 ... 7)	300...600	—	5	1	260
ТХ18А	175	62 ... 82	—	9	—	400	100 ... 165	—	—

возникновением тлеющего разряда. Первая сетка предназначена для создания вспомогательного тихого разряда, вторая — является управляющей. Примером двухсеточного тиратрона является прибор типа ТХ13Г.

Выпускаются также *многосеточные тиратроны*, содержащие три и более сеток (приборы ТХ6Г, ТХ7Г, ТХ8Г, ТХ9Г и др.). Они предназначены для регистрации малых токов и для выполнения различных логических операций.

К тиратронам с *электростатическим (потенциальным) управлением* относятся тиратроны ТХ6Г, ТХ7Г, ТХ8Г, ТХ9Г, ТХ12Г, ТХ13Г, ТХ16Б. К тиратронам с *токовым управлением* относятся тиратроны типа ТХ11Г и др.

Параметры тиратронов тлеющего разряда приведены в табл. 6.2, цоколевка — в табл. 6.3.

Табл. 6.3. Цоколевка тиратронов тлеющего разряда

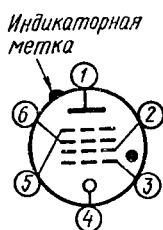
ТХ6Г	Индикаторная метка	1—анод второй (анод считывания), 2—сетка первая (подготовительного разряда), 3—сетка третья (записи В), 5—катод, 6—сетка четвертая (считывания), 7—сетка вторая (записи А), 8—анод первый (анод записи)
ТХ7Г	Индикаторная метка	1—анод, 2—сетка первая (подготовительного разряда), 3—катод, 4—сетка вторая (запрещающая), 5—сетка третья (разрешающая)
ТХ8Г	Индикаторная метка	1—анод, 2—сетка третья (управляющая В), 4—катод, 5—сетка первая (подготовительного разряда), 6—сетка вторая (управляющая А)
ТХ9Г	Индикаторная метка	1—сетка третья (управляющая В), 2—анод, 3—сетка четвертая (управляющая С), 4—катод, 6—сетка первая (подготовительного разряда), 7—сетка вторая (управляющая А)

TX11Г

Индикаторная
метка

1—анод, 3—сетка экранирующая, 4—катод, С—
сетка управляющая (верхний вывод)

TX12Г

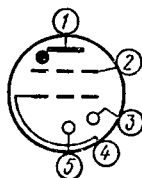
Индикаторная
метка

1—анод, 2—сетка первая (вспомогательная), 4—
сетка нулевая (свободная), 3—катод, 5—сетка
третья (управляющая), 6—сетка вторая (подготови-
тельного разряда)

TX13Г

Индикаторная
метка

1—анод, 3—катод, 4—сетка вторая (управляющая),
5—сетка первая (подготовительного разряда)

TX16Б
TX17А

1—анод, 2—сетка вторая, 3—подкатод, 4—сетка
первая, 5—катод

7. СТАБИЛИТРОНЫ И ИНДИКАТОРЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

7.1. Стабилитроны

Стабилитроном называют ионный электровакуумный прибор, предназначенный для стабилизации напряжения, у которого напряжение между электродами в рабочем участке характеристики мало зависит от разрядного тока. В зависимости от типа используемого электрического разряда различают: стабилитроны тлеющего разряда и стабилитроны коронного разряда. Прибор может быть выполнен с несколькими электродами для получения стабилизированных напряжений. В этом случае можно применять термин «многоэлектродный стабилитрон».

В стабилитроне тлеющего разряда катод выполнен в виде цилиндра, вдоль оси которого расположен стержневой анод. Внут-

Табл. 7.1. Параметры стабилитронов тлеющего и коронного разрядов

Тип стабилитрона	Напряжение возникновения разряда, В	Напряжение стабилизации, В	Ток через стабилитрон (рабочий диапазон), мА	Изменение напряжения стабилизации в рабочем диапазоне токов, В	Наполнение
СГ1П	175	143...155	5...30	3,5	Аргон—гелий
СГ2П	150	104...112	5...30	2,5	Аргон—криптон—неон
СГ3П	170	—	5...40	2	Аргон—криптон—неон
СГ5Б	180; 170	142...157	5...10	4	Гелий—аргон
СГ13П	175	143...155	5...30	3,5	Гелий—аргон
СГ15П-2	160	102...110	5...30	2,3	Гелий—аргон
СГ16П	150	80...85	5...30	3	Гелий—аргон
СГ17С	1350	850...950	10...60	54	Гелий—неон
СГ18С	1500	950...1050	10...60	70	Гелий—неон
СГ19С	1650	1050...1150	10...60	77	Гелий—неон
СГ20Г	135	85...91	4...15	0,5...25	Неон—криптон
СГ201С	150	83...92	4...15	2,5	Неон—криптон
СГ202Б	135	81...85	1,5...5	4,5	Неон—аргон
СГ203К	150	79...86	1...10	2	Неон—аргон
СГ204К	220	159...167	4...15	—	Аргон—неон
СГ205Б	135	81...84	9...11	—	Водород
СГ303С-1	1320	1220...1280	0,01...0,1	30	Водород
СГ304С	—	3800...4200	0,05...1	240	Водород
СГ301С-1	430	380...400	0,003...0,1	14	Водород
СГ302С-1	970	880...920	0,003...0,1	30	Водород
СГ305К	—	9500...10500	0,05...1,5	700	Водород
СГ306К	—	24000...26000	0,05...1,5	1500	Водород
СГ307К	—	14250...15750	0,05...1,5	1050	Водород
СГ308К	—	19000...21000	0,05...1	1000	Водород
СГ309К	—	28500...31500	0,05...1,5	1800	Водород
СГ311С	430	385...415	0,05...1	20	Водород
СГ312А	430	—	0,003...0,05	7	Водород
СГ312С					

Табл. 7.2. Обозначение выводов электродов стабилитронов

Тип стабилитрона	Номера выводов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
СГ1П, СГ2П, СГ3П, СГ13П, СГ15П-2, СГ16П	анод	катод	—	катод	анод	—	катод	—
СГ311С	—	катод	—	катод	—	анод	—	—
СГ201С	—	катод	анод	—	анод	анод	катод	катод
СГ5Б, СГ5В, СГ20Г, СГ20Г-1, СГ202Б, СГ205Б, СГ301С-1, СГ302С-1, СГ303С-1	катод	анод	катод	—	—	—	—	—

Примечание. У стабилитронов типа СГ203К, СГ304С, СГ305К—СГ309К, СГ312А, СГ312С — анод и катод, СГ204К — катод и промежуточный электрод, СГ17С — СГ19С — анод, катод и анод возбуждения выведены наружу.

ренная поверхность катода активизируется. Баллон стабилитрона изготавливают из стекла и наполняют инертным газом до давления 20...80 Тор. Форма и расположение электродов облегчают зажигание самостоятельного разряда в приборе. Этому способствует также и поджигающий электрод, выполненный в виде никелевого стержня, расстояние которого до анода влияет на напряжение зажигания тлеющего разряда в стабилитроне.

Стабилитроны коронного разряда отличаются от стабилитронов тлеющего разряда более высоким давлением наполнителя (обычно водорода) и отсутствием поджигающего электрода. Благодаря этому напряжение зажигания разряда стабилитрона оказывается значительно большим, чем у стабилитронов тлеющего разряда. По внешнему виду их можно отличить от стабилитронов тлеющего разряда лишь наличием в них керамической изоляции между электродами. При напряжениях, превышающих несколько сотен вольт, вблизи анода создается электрическое поле с большой напряженностью, которое ионизирует примыкающий к нему слой газа, вызывая свечение этого слоя, называемого *коронной*. Остальная часть разрядного промежутка не светится, и поэтому ее называют *темным пространством*. Носителями заряда в стабилитроне являются ионы, образующиеся в короне и перемещающиеся к катоду. Темное пространство представляет для них некоторое сопротивление, вследствие чего величина тока через прибор оказывается малой.

Примерами стабилитронов коронного разряда являются стабилитроны типов СГ301С — СГ312С и др.

Параметры стабилитронов приведены в табл. 7.1, обозначение выводов электродов — в табл. 7.2.

7.2. Знаковые и линейные индикаторы

Выпускаемые отечественной промышленностью ионные индикаторы условно делят на знаковые (цифровые, буквенные), линейные, сигнальные и матричные.

Знаковым (цифровым, буквенным) *индикатором* называют ионный электровакуумный прибор тлеющего разряда, содержащий набор электродов в форме знаков (цифр или букв) и предназначенный для визуальной индикации цифровых данных и обозначения электрических и физических величин. Цифровые индикаторы выполняются в стеклянном баллоне, заполненном неоновой смесью и имеют оранжево-красное свечение. В цилиндрическом баллоне смонтирован анод, имеющий форму диска, сетки или цилиндра, а также катоды, которые выполнены в виде арабских цифр и имеют обозначения от 0 до 9. Форма катодов и их размеры выбраны так, чтобы создать минимальное перекрытие цифр и букв.

При попадании отрицательного импульса на один из катодов между ним и анодом возникает тлеющий разряд. Свечение прилегающего к катоду слоя газа обычно имеет ширину до двух миллиметров и отчетливо видно сквозь анод.

Наряду с индикаторными лампами цилиндрической формы выпускаются индикаторы с баллоном прямоугольной формы (ИН12А, ИН15А и др.). Такая форма баллона позволяет создавать компактные многоразрядные индикаторные системы. К цифровым индикаторам относятся приборы типов ИН1, ИН2, ИН4, ИН8, ИН8-2, ИН12А, ИН12Б, ИН14, ИН16, ИН17 и ИН18. Они предназначены для визуальной индикации электрического сигнала и применяются в различной радиоэлектронной, вычислительной и другой аппаратуре для отображения цифровой информации. К буквенным индикаторам относятся приборы типов ИН5А, ИН5Б, ИН7Б, ИН15Б и ИН19Б. Они предназначены для визуальной индикации электрического сигнала в виде букв латинского алфавита и применяются для индикации выходных данных в различной радиоэлектронной и вычислительной аппаратуре (единиц измерения и вида электрических сигналов — ИН7Б, ИН15Б, ИН19Б). Индикаторы типов ИН7, ИН7А, ИН15А, ИН19А и ИН19В предназначены для визуальной индикации электрического сигнала в виде знаков и букв. Они применяются в устройствах с визуальной индикацией единиц измерений и вида электрических сигналов, в измерительных приборах и в различной радиоэлектронной и вычислительной аппаратуре.

Индикаторы типов ИН3 и ИН3А предназначены для визуальной индикации электрических сигналов в радиоизмерительных приборах и другой радиоэлектронной аппаратуре.

Трехэлектродные (двухкатодные) индикаторы типа ИН6 срабатывают при напряжении около 2 В. Они предназначены для визуальной индикации состояния различных функциональных узлов транзисторных систем, построения светоинформационных табло, индикации импульсов малой амплитуды.

Индикаторы типа ИНС1 и 95СГ9 применяются для визуальной индикации электрического сигнала в цепях постоянного и переменного тока устройств автоматики, вычислительной техники и радиоэлектронной аппаратуры.

Линейными аналоговыми индикаторами называют приборы тлеющего разряда, предназначенные для измерения тока, в которых возникновение разряда сопровождается катодным свечением в виде столба, длина которого линейно зависит от тока. Линейные индикаторы применяют вместо стрелочных измерительных приборов и других электромеханических устройств контроля систем промышленной автоматики. Они имеют удлинненный баллон, длина светящегося столба их наполнителя линейно зависит от величины протекающего тока. Промышленностью изготовлены линейные индикаторы типа ИН9, ИН13 и ИН20. Индикатор ИН9 предназначен для контроля напряжения сети переменного тока, параметров систем и состояния технологических процессов, для построения индикационных табло в системах статистического анализа. Индикатор типа ИН13 предназначен для непрерывного контроля в устройствах индикации и сигнализации. Он может быть применен во всех системах промышленной автоматики взамен стрелочных электроизмерительных приборов и других электромеханических устройств

класса точности 2,5...4. В частности, индикатор ИИ13 может быть использован для контроля напряжения и тока, скорости движения, высоты подъема, уровня жидкости, давления, температуры, расхода топлива и смазки. Индикатор ИИ20 преобразует электрический сигнал в визуальную информацию в виде светящегося столба или точки. Он позволяет вести счет и индикацию электрических импульсов и находит применение в различной измерительной аппаратуре, при построении экранов в системах статистического анализа, счетчиках импульсов с большой емкостью и т. п.

Параметры зонных и линейных индикаторов приведены в табл. 7.3, цоколевка их показана на рис. 7.1, расшифровка выводов электродов — в табл. 7.4.

Помимо ионных индикаторов, для визуальной индикации электрического сигнала находят применение *вакуумные люминесцентные индикаторы*. Такие индикаторы внешне ничем не отличаются от обычных ламп миниатюрной конструкции. Внутри стеклянного баллона их последовательно один за другим расположены катод прямого накала, сетка, металлический экран и люминесцирующие сегменты, размещенные на токопроводящей пластине. Металлический экран перфорирован в виде комбинации знаков и цифр. Каждый электрод (катод, сетка и люминесцирующие сегменты — аноды) имеет отдельные выводы, подключаемые к общему источнику питания. Сигналы подаются на аноды индикатора через специальный переключатель. Промышленностью выпускаются люминесцентные индикаторы типа ИВ1, ИВ2, ИВ3 и ИВ4. Они предназначены для работы в цепях вывода информации, воспроизведения знаков в вычислительных и измерительных устройствах широкого применения.

Параметры люминесцентных индикаторов приведены в табл. 7.5, расшифровка выводов — в табл. 7.6.

7.3. Декатроны

Декатроном называют ионный электровакуумный прибор тлеющего разряда, предназначенный для цифрового счета и распределения импульсов в десятичной системе счисления.

В декатроне происходит последовательный перенос тлеющего разряда с одного катода на другой посредством импульсов напряжения. Такой перенос может осуществляться одним или двумя импульсами. Отсюда происходит деление декатронов на одно- и двухимпульсные.

Двухимпульсные декатроны содержат анод и 30 катодов, расположенных по окружности вокруг анода. Катоды делятся на три группы. Катоды К1...К9 являются основными (индикаторными), остальные — первыми 1ПК и вторыми 2ПК поджигающими катодами (подкатадами). Подкатоды по десять объединены в две группы, имеющие каждая самостоятельный вывод. У декатронов, предназначенных для коммутации электрических цепей, каждый из индикаторных катодов имеет отдельный вывод. Таким образом,

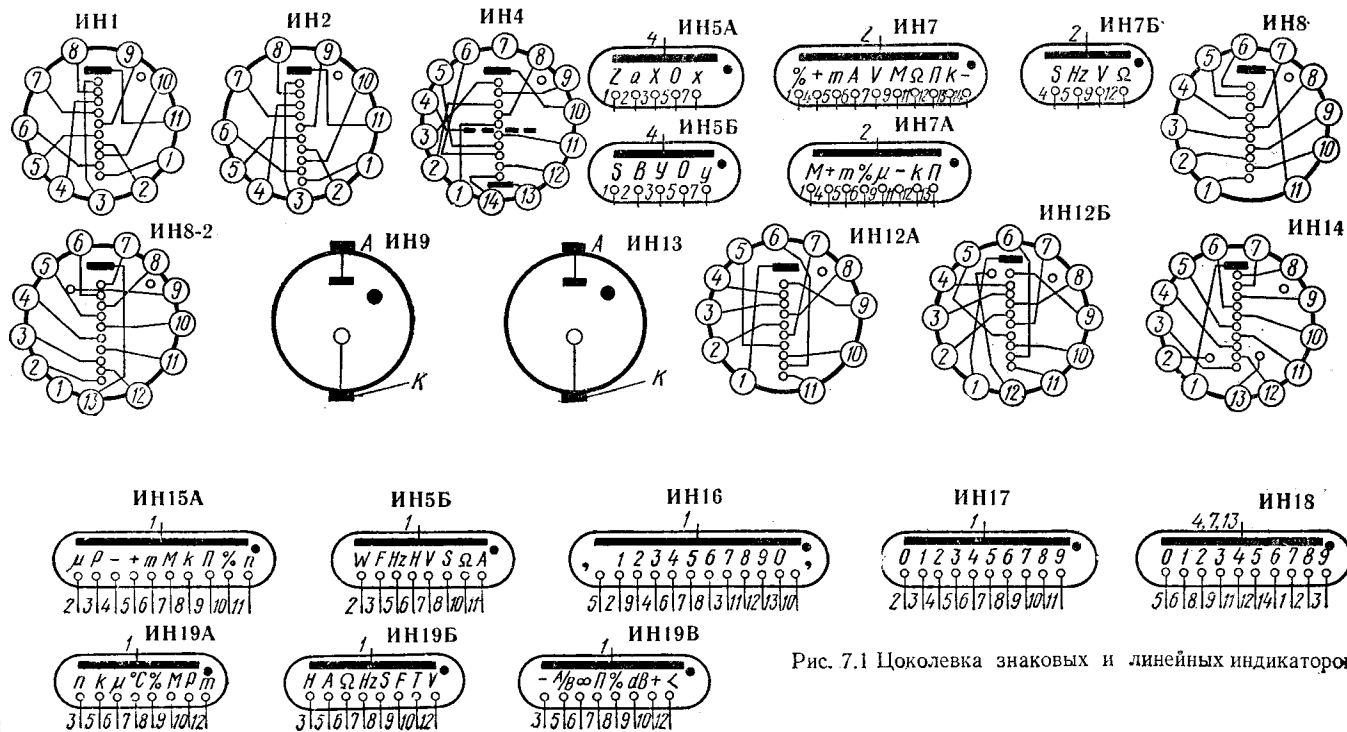


Табл. 7.3. Параметры знаковых и линейных индикаторов

Тип индикатора	Номинальное напряжение возникновения разряда, В	Рабочий ток, мА	Наибольшее время запаздывания возникновения разряда, с	Высота цифр, мм	Направление индикации	Угол обзора, град	Яркость свечения, кд/м²	Напряжение поддержания разряда, В
ИН1	200	2,5 ... 3,0	1	18	Торцовое	±30	300	130
ИН2	200	1,5 ... 2,0	1	9	Торцовое	±25	300	130
ИН4	200	2,5 ... 3,0	1	18	Торцовое	±30	300	160
ИН8	200	2,5 ... 3,5	0,5	18	Боковое	±30	300	140
ИН8-2	200	2,5 ... 3,5 (цифры) 0,3 ... 0,7 (запятая)	0,5	18	Боковое	±30	300	140
ИН12А	200	2,5 ... 3,0	1	18	Торцовое	±30	300	170
ИН12Б	200	2,5 ... 3,0 (цифры) 0,3 ... 0,7 (запятая)	1	18	Торцовое	±30	300	170
ИН3	85	0,2	—	—	Торцовое	—	—	—
ИН3А	190	2	—	—	—	—	—	—
ИН14	200	2,5 ... 3,0 (цифры) 0,3 ... 0,7 (запятая)	1	18	Боковое	±30	300	170
ИН6	180	1 ... 45	—	—	—	—	90	87
ИН9	140	12	1	100	Боковое	±120	—	—
ИН13	140	0,3 ... 4,4	1	120	Боковое	±120	—	105
ИН5А	200	1,5	—	9	Торцовое	±25	—	—
ИН5Б								

Тип индикатора	Номинальное напряжение возникновения разряда, В	Рабочий ток, мА	Наибольшее время запаздывания возникновения разряда, с	Высота цифр, мм	Направление индикации	Угол обзора, град	Яркость свечения, кд/м ²	Напряжение поддержания разряда, В
ИН7 ИН7А ИН7Б	170	4	—	18	Торцовое	±30	—	—
ИН15А ИН15Б	170	2,5 ... 3,5	—	18	Торцовое	±30	—	—
ИН16	170	0,3 ... 2	—	13	Боковое	±30	—	—
ИН17	170	2	—	9	Торцовое	±25	—	—
ИН18	170	6 ... 8	—	40	Боковое	±30	—	—
ИН19А ИН19Б ИН19В	170	2,5	—	18	Боковое	±30	—	—
ИН20	400	1,5 ... 2,4	—	140	Боковое	±40	—	270
ИН21	110	0,5	—	—	Торцовое	—	—	—
ИН24	460	2	—	—	Торцовое	—	—	110 ... 160
ИНС1	65 ... 95	0,5 ... 1	—	—	Торцовое	—	—	—
95СГ9	95	3	—	—	Боковое	—	—	160 ... 180
ИН26	360	1,7 ... 2,3	1	100		±45	3500	

Табл. 7.4. Соответствие номеров выводов электродам знаковых индикаторов

Прибор	Номера выводов													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ИН-1, ИН2, ИН8	катод 1	катод 2	катод 3	катод 4	катод 5	катод 6	катод 7	катод 8	катод 9	катод 0	анод	—	—	—
ИН4	катод 4	катод 6	катод 8	экран	катод 9	катод 7	свободный	катод 0	катод 2	анод 11	катод 3	катод 5	анод 1	катод 1
ИН5А	Z	a	X	анод	0	—	x	—	—	—	—	—	—	—
ИН5Б	S	B	Y	анод	0	—	y	—	—	—	—	—	—	—
ИН7	%	анод	—	+	m	A	V	—	M	—	Ω	П	k	«—»
ИН7А	M	анод	—	+	m	%	—	—	μ	—	«—»	k	n	—
ИН7Б	—	анод	—	s	H _z	—	—	—	V	—	—	Ω	—	—
ИН8-2	свободный	катод 1	катод 2	катод 3	катод 4	катод 5	катод 6	катод 7	катод, запятая	катод 8	катод 9	катод 0	анод	—
ИН12А	анод	катод 0	катод 9	катод 8	катод 7	катод 6	катод 5	катод 4	катод 3	катод 2	катод 1	—	—	—
ИН12Б	анод	катод 0	катод 9	катод 8	катод 7	катод 6	катод 5	катод 4	катод 3	катод 2	катод 1	катод, запятая	—	—
ИН14	анод	катод, запятая	катод 1	катод 2	катод 3	катод 4	катод 5	катод 6	катод 7	катод 8	катод 9	катод 0	катод, запятая	—
ИН15А	анод	μ	P	«—»	+	m	M	k	П	%	n	—	—	—
ИН15Б	анод	W	F	—	H _z	H	V	s	—	Ω	A	—	—	—
ИН16	анод	1	7	3	,	4	5	6	2	,	8	9	0	—
ИН17	анод	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
ИН18	7	8	9	анод	0	1	анод	2	3	—	4	5	анод	6
ИН19А	анод	—	n	—	k	μ	°C	%	M	P	—	m	—	—
ИН19Б	анод	—	H	—	A	Ω	H _z	s	F	T	—	V	—	—
ИН19В	анод	—	«—»	—	A/B	∞	П	%	dB	+	—	<	—	—

Табл. 7.5. Параметры люминесцентных индикаторов

Тип индикатора	Напряжение анода и сетки ¹ , В			Напряжение, накала, В	Ток накала, мА	Суммарный ток анода, мА	Яркость свечения, кд/м ²
	Переменное	Постоянное	Импульсное				
ИБ1	20	25	70	0,85	47 ... 53	0,5	200 ... 500
ИБ2	20	25	70	0,85	47 ... 53	0,5	200 ... 500
ИБ3	20	25	70	0,85	47 ... 53	0,5	200 ... 500
ИБ4	—	27	70	2,75	45 ... 55	2,5	200 ... 300

¹ Рабочий ток равен 40 ... 50 мА.

декатрон содержит десять одинаковых «ячеек», принцип действия которых одинаков.

Режим работы декатрона выбирают таким образом, чтобы тлеющий разряд мог существовать между анодом и одним индикаторным катодом. В счетных декатронах девять индикаторных катодов электрически объединены в одну группу и имеют общий вывод, а десятый индикаторный катод K_0 , определяющий начало отсчета, имеет самостоятельный вывод и называется *нулевым индикаторным катодом*. На подкатоды подают положительное напряжение смещения не менее 30 В и управляющие импульсы амплитудой порядка 100 В. При включении анодного напряжения и напряжения смещения между анодом и одним из катодов возникает нормальный тлеющий разряд, в результате чего напряжение анода падает до напряжения поддержания разряда, и возникновение разряда в каком-либо другом промежутке становится невозможным. Разряд между анодом и под катодами не возникает, так как напряжение здесь значительно меньше напряжения возникновения разряда за счет положительного смещения на подкатадах.

Прежде чем начать счет импульсов, необходимо перевести разряд на нулевой катод. Эта операция называется *сбросом разряда*. Сброс можно осуществить отключением от катодов отрицательно го полюса анодного источника. Для переноса заряда с какого-либо индикаторного катода на следующий (например, с катода K_0 на катод K_1) необходимо на первый и второй подкатоды подать два сдвинутых во времени отрицательных импульса. Процесс переноса тлеющего разряда на следующий индикаторный катод можно разбить на три этапа. Сначала разряд переносится с индикаторного катода на первый подкатод, затем с первого подкатада на второй подкатод и, наконец, со второго подкатада на следующий по порядку индикаторный катод. Десятая пара управляющих импульсов снова переносит разряд на нулевой индикаторный катод K_0 .

Выходной импульс амплитудой около 20 В снимается с резистора, включенного в цепь нулевого катода. После усиления и соответствующего преобразования выходной импульс может быть исполь-

зован для запуска следующего декатрона. Таким образом, в декатроне на десять пар входных импульсов приходится один выходной импульс.

Одноимпульсные декатроны конструктивно сложнее двухимпульсных: они имеют либо более сложную конструкцию катодов, либо большее число подкатодов, хотя электрические схемы управления одноимпульсными декатронами значительно проще. Кроме того, процессы переноса заряда у одноимпульсных декатронов происходят быстрее, что позволяет получить более высокую скорость счета и т. п. В одноимпульсных декатронах в отличие от двухимпульсных между катодами располагаются три подкатода. В остальном устройство одно- и двухимпульсных декатронов аналогично. Таким образом, в одноимпульсном декатроне содержится 40 катодов, в двухимпульсном — 30.

Декатроны разработаны для счета импульсов. Они находят применение для контроля числа деталей, регистрации импульсов, возникающих при вращении телефонного диска, управления продолжительностью процесса сварки. *Коммутаторные декатроны* применяются для деления частоты, генерации серий импульсов, меток времени для осциллографов и т. п.

Параметры декатронов приведены в табл. 7.7, цоколевка — в табл. 7.8.

7.4. Сигнальные индикаторы тлеющего разряда

Сигнальным индикатором называют прибор тлеющего разряда, предназначенный для визуальной индикации приложенного напряжения или внешнего электрического поля, в котором свечение газа или люминофора обусловлено тлеющим разрядом.

Конструкция сигнального индикатора включает стеклянный баллон, заполненный неоном (или другим газом) с примесью примерно 5% аргона, внутри которого размещены анод и катод. *Катод* имеет форму диска или цилиндра, *анод* — форму кольца или цилиндра с диаметром меньшим, чем у катода. Материалом катода является сталь или никель, активированные цезием или барием в целях уменьшения работы выхода электронов. Давление газа в баллоне индикатора находится в пределах 30...40 Тор. Цоколь может быть резьбовым или штифтовым. Например, индикатор ТН-0,2 имеет резьбовой цоколь, ТН-0,3 — штифтовый. Торцовая часть стеклянного баллона у первой лампы плоская, у второй — сферическая. Сигнальные лампы типа СН-1 или СН-2 имеют форму, аналогичную электрической лампе накаливания.

Последовательно индикатору обязательно включается токоограничивающий резистор. В лампах СН-1 (ТН-20) и СН-2 (ТН-30) ограничивающий резистор размещен в цоколе. При параллельном соединении нескольких ламп последовательно каждой из них должен быть включен ограничивающий резистор. У ламп, предназначенных для цепей переменного тока, оба электрода выполнены из одного и того же материала и имеют одинаковую форму. В купол

Табл. 7.6. Расшифровка выводов люминесцентных индикаторов

Тип индикатора	Номера выводов												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ИБ1	Накал (катод)						сетка	накал (катод)		анод (знак минус)			второй анод (точка)
ИБ2	накал (катод)	4,5,6, 9	0,2,6, 8	1,4,7		0,3,5,6, 8,9	сетка	накал (катод)	знак запятая	2,3,7,8, 9	2,3,5,6, 7,8,9	1,4	0,2,3,5, 6,8,9
ИБ3	накал (катод)	0,6,8	0,2,3, 5,6,8,9	2,7	0,1,3,4, 5,6,8,9	знак запятая	сетка	накал (катод)	0,1,3,4, 8,9	0,2,3,5, 6,7,8,9	1,2,7	3,4,5, 6,8,9	0,2,4,5, 6,8,9

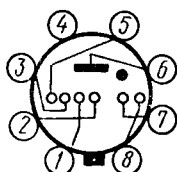
Примечание. Для индикатора ИБ4: 1,14 — накал (катод), 2...10, 13...21 — аноды, 12 — сетка.

Табл. 7.7. Параметры декастронов

Тип декастроны	Коэффициент пересчета	Напряжение возникновения разряда, В		Анодное напряжение, В	Напряжение импульса сброса, В	Анодный ток, мА	Цвет свечения	Долговечность, ч	Примечание
		в темноте	на свету						
ОГ4	10	420	375	125	150	0,4	Оранжево-красный	1000	Двухимпульсный
ОГ7	10	500	430	245	130	0,8	Синий	500	Двухимпульсный
ОГ8	10	—	480	275	—	1,2	Синий	500	Одноимпульсный
ОГ9	—	—	375	—	135 ... 165	0,3 ... 0,4	Оранжево-красный	1000	—
A101	10	425	375	150	150	0,4	Оранжево-красный	1000	Коммутаторный
A102	10	—	130	190 ... 230	165	—	—	—	Коммутаторный
A103	10	500	430	245	130	0,8	Фиолетово-синий	500	Коммутаторный
A106	10	—	420	255 ... 295	75 ... 125	1,1 ... 1,4	Фиолетово-синий	2000	Коммутаторный
A107	10	—	430	270 ... 310	50 ... 70	1,2 ... 1,5	Фиолетово-синий	1000	Коммутаторный, миниатюрный
A108	10	—	250	125 ... 145	70	0,5 ... 0,75	Фиолетово-синий	2000	Коммутаторный, миниатюрный
A201	—	—	400 450	200 ... 230	20	2 ... 3,5; 1,5 ... 2	Фиолетовый	1000	Счетно-коммутаторный многоанодный полнотон

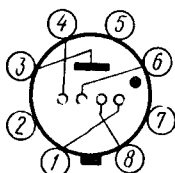
Табл. 7.8. Цоколевка декастронов

ОГЗ



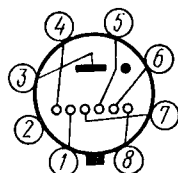
1—подкатод третий, 2—катод, 3—подкатод второй, 5—подкатод первый, 6—анод, 7—третий подкатод нулевого катода, 8—катод нулевой

ОГ4
ОГ7



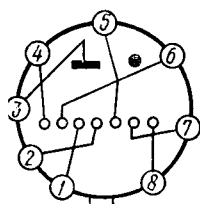
1—катод нулевой, 3—анод, 4—подкатод первый, 6—подкатод второй, 8—катод

ОГ8



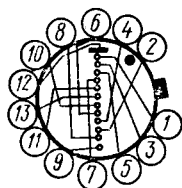
1—катод нулевой, 3—анод, 4—подкатод, 5—катод пятый, 6—катод девятый, 7—катод третий, 8—катоде (общий вывод)

ОГ9



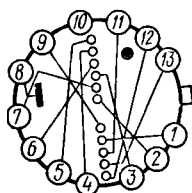
1—катод нулевой, 2—катод девятый, 3—анод, 4—подкатод первый, 5—катод пятый, 6—подкатод второй, 7—катод общий, 8—катод первый

A101
A102
A103

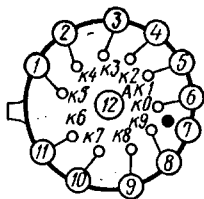


1—катод нулевой, 2—катод первый, 3—катод десятый, 4—катод второй, 5—катод восьмой, 6—катод третий, 7—катод седьмой, 8—подкатод второй, 9—подкатод первый, 10—катод четвертый, 11—катод шестой, 12—анод, 13—катод пятый

A106

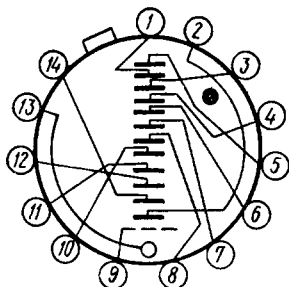


1—катод нулевой, 2—катод девятый, 3—катод восьмой, 4—катод седьмой, 5—подкатод первый, 6—катод шестой, 7—катод пятый, 8—анод, 9—катод четвертый, 11—катод третий, 12—катод второй, 13—катод первый

A107
A108

1—катод пятый, 2—катод четвертый, 3—катод третий, 4—катод второй, 5—катод первый, 6—катод нулевой, 8—катод девятый, 9—катод восьмой, 10—катод седьмой, 11—катод шестой, 12—анод

A201



1—первый поданод, 2—нулевой анод, 3—девятый анод, 4—восьмой анод, 5—второй поданод, 6—седьмой анод, 7—шестой анод, 8—пятый анод, 9—экран, 10—четвертый анод, 11—третий анод, 12—второй анод, 13—катод, 14—первый анод

баллона лампы иногда вваривают оптическую линзу с целью формирования параллельного светового пучка (ТНИ-1,5). При работе лампы на постоянном токе для надежного возникновения разряда необходимо, чтобы питающее напряжение превосходило в 1,5 раза падение напряжения на ней.

При некотором, вполне определенном для данной лампы напряжении, приложенном к ее электродам (напряжении возникновения разряда), в газовом промежутке возникает тлеющий разряд, сопровождаемый свечением красно-оранжевого цвета.

При начальном повышении напряжения ток, проходящий через лампу, очень мал и нарастает медленно. При достижении напряжения возникновения разряда в лампе возникает тлеющий разряд, при котором ток возрастает скачком. При уменьшении напряжения ток вначале падает медленно, а при достижении напряжения, равного напряжению прекращения разряда, падает скачком, и лампа гаснет. Напряжение прекращения разряда меньше, чем напряжение возникновения его. Это объясняется меньшей ионизацией газа перед возникновением разряда по сравнению с ионизацией перед прекращением его.

Сигнальные индикаторы являются универсальными приборами. Они применяются в электронных тахометрах для отсчета времени, в качестве индикаторов постоянного и переменного напряжений, в звуковых генераторах, в схемах реле времени, в стабилизаторах напряжения, в простейших релаксационных генераторах, для сигнализации и др. Сигнальные индикаторы потребляют малый ток, просты по конструкции и имеют большой срок службы, достигающий 50000 ч. Недостатками их являются: малая яркость свечения, относительно высокое питающее напряжение, запаздывание возникновения разряда при длительном нахождении лампы в темноте

(несколько секунд и даже минут). При работе лампы на постоянном токе один из ее электродов является отрицательным, и свечение разряда видно у этого электрода. При работе же на переменном токе потенциалы чередуются, и поэтому оба электрода кажутся светящимися одновременно.

Параметры сигнальных индикаторов приведены в табл. 7.9.

▼ Табл. 7.9. Параметры сигнальных индикаторов

Тип лампы	Род тока	Габариты, мм		Напряжение возникнове- ния разряда, В	Потреб- ляемый ток, мА	Срок службы, ч
		D	L			
СН-1 (ТН-20)	Переменный	56	94	150	20	1000
СН-2 (ТН-30)	Переменный	56	94	82	30	1000
МН-3 (миниатюрной конструкции)	Постоянный	15	44	65	1	300
МН-4	Постоянный	16	37	80	2	500
МН-5 (ТН-0,3)	Переменный	9,5	34,5	150	0,2	200
МН-6	Постоянный	6,8	28	90	0,8	100
МН-7	Постоянный	15	40	87	2	200
МН-8 (ТН-0,2)	Постоянный	9,5	34,5	85	1	200
МН-11	Постоянный	14,5	42	85	5	100
ПН-1 (ТН-0,9)	Постоянный	15,5	45	200	1	300
ФН-2 (ТН-1)	Переменный	13,7	26	140	1	100
ВМН-1	Переменный	10,2	51	160	2	—
ВМН-2	Постоянный	7	37	126	—	—
УВН-1	Переменный	—	—	550	—	—
ПН-3 (ТН-0,5)	Постоянный	15,5	45	90	9,5	300
ТН-1,5	Постоянный и переменный	—	—	160; 120	1,5	1000
ТН-1,5Д		—	—			
ТН-30-2М	Переменный	56	94	105	30	2500
ТН-0,8	—	8	32	110	0,8	1000
ТН-0,25	—	9,5	34,5	120	0,25	2000
ТН-0,95	—	15,5	44	80	1	2000
ТН-0,15	—	3	20	150	0,15	100
ТН-0,31	—	9,5	34,5	170	0,3	2000
МН-15	—	9,5	38	235	0,45	50
ВН-1	—	4,5	44	—	—	50
ВН-2	—	4,5	44	—	—	50
ТНУ-2	—	—	—	230 ... 300	2	—
ИФ-1	—	—	—	198 ... 242	2	—

На пультах управления, в устройствах сигнализации и в других установках удобно использовать *цветные сигнальные лампы*. В большинстве случаев эффекта многоцветности сигнальных огней добиваются с помощью цветных стекол (колпачков). Однако применение миниатюрных маломощных ламп накаливания с цветными фильтрами оправдано только в низковольтных цепях. При сетевых напряжениях 127, 220 и более вольт в сигнальных лампах расходуется весьма значительная мощность.

В современных распределительных щитах, насчитывающих десятки, а иногда и сотни сигнальных ламп, потребляемая мощность достигает единиц киловатт электроэнергии. Это побудило к созданию *маломощных цветных сигнальных ламп тлеющего разряда*. Такие лампы содержат два электрода и размещены в баллоне, внутренняя часть которого покрыта люминофором. При приложении к лампе напряжения между электродами возникает тлеющий разряд, ультрафиолетовое излучение которого возбуждает люминофор. *Цвет свечения* лампы (оранжевый, зеленый, желтый, голубой или розовый) зависит от сочетания люминофора и газа, наполняющего баллон. Такие лампы работают в широком интервале температур и допускают двукратные скачки напряжения. Потребляемая мощность их вместе с балластным резистором в зависимости от напряжения сети и сопротивления этого резистора находится в пределах 0,1...1,0 Вт. Промышленность серийно выпускает цветные сигнальные люминесцентные лампы — ТЛ-3, ТЛ-1 и другие — в четырехцветном варианте каждая (оранжевом, зеленом, желтом и голубом). Срок службы их составляет более 2000 ч.

Яркость свечения ламп регулируют изменением величины балластного сопротивления. Для ламп типа ТЛЗ, ТЛЖ и ТЛГ предельный ток равен 7 мА, для ламп ТЛО — 16 мА. Иногда наблюдается свечение невключенных ламп, возникающее вследствие наводок от близко расположенных проводов. Этот эффект устраняется шунтированием лампы резистором, сопротивление которого находится в пределах 300 кОм...1 МОм. Лампы типа ТЛ работают в цепях постоянного и переменного напряжения частотой 50 Гц...10 кГц. Их температурный диапазон составляет — 58...+50° С.

В обозначении лампы буквы указывают: Т — тлеющая; Л — люминесцентная; О — оранжевая; З — зеленая; Ж — желтая; Г — голубая. *Первая цифра* указывает номинальный ток в миллиамперах. *Вторая цифра* — обычно «1» — означает, что лампы можно применять в сети переменного тока с напряжением не менее 127 В или при постоянном токе напряжением не менее 160 В. Лампы, имеющие в обозначении цифру «2», могут быть применены в цепях постоянного или переменного тока напряжением 220 В.

Параметры ламп приведены в табл. 7.10.

Табл. 7.10. Параметры цветных сигнальных ламп тлеющего разряда

Тип лампы	Свечение лампы	Наибольшее напряжение возникновения разряда ¹	Наименьшее напряжение возникновения разряда ¹	Напряжение поддержания разряда ¹	Яркость, кд/м ²	Номинальный ток, мА	Сопротивление балластного резистора, кОм		
							сеть 127 В	сеть 220 В	сеть 380 В
ТЛО—3—1 ТЛО—1—1 ТЛО—1—2 ТЛО—3—2	Оранжевое	160 ... 185	100	80^{+30}_{-10}	50 ... 130	3 1	20 33	47 100	100 —
ТЛЗ—3—1 ТЛЗ—1—1 ТЛЗ—1—2 ТЛЗ—3—2	Зеленое	160 ... 185	85	80^{+5}_{-20}	20 ... 70	3 1	20 33	47 100	100 —
ТЛЖ—3—1 ТЛЖ—1—1 ТЛЖ—1—2 ТЛЖ—3—2	Желтое	160 ... 185	85	80^{+5}_{-20}	20 ... 50	3 1	20 33	47 100	100 —
ТЛГ—3—1 ТЛГ—1—1 ТЛГ—3—2	Голубое	160 ... 185	85	80^{+5}_{-20}	2 ... 10	3 1	20 33	47 100	100 —

¹ Постоянного тока.

Табл. 7.11. Параметры миниатюрных ламп накаливания

Тип лампы	Номинальные величины				Предельные величины			Средняя продолжительность работы при номинальном напряжении, ч	
	Напряже- ние, В	Электрический ток, А	Световой поток, лм		Электрический ток, А, не бо- лее	Световой поток, лм, не менее			
			с государст- венным Знаком качества	1-я катего- рия		с государст- венным Знаком качества	1-я катего- рия	с государст- венным Знаком качества	1-я категория
МН 1—0,068	1,0	0,068	—	—	0,075	—	—	2000	1500
МН 1,25—0,25	1,25	0,25	0,8	0,8	0,28	0,6	0,6	70	60
МН 2,3—1,25	2,3	1,25	21,0	21,0	1,35	16,0	16,0	105	75
МН 2,5—0,068	2,5	0,068	—	—	0,075	—	—	2000	1500
МН 2,5—0,15	2,5	0,15	2,4	2,3	0,17	1,6	1,6	60	45
МН 2,5—0,29	2,5	0,29	4,0	4,0	0,33	3,2	3,0	450	300
МН 2,5—0,4	2,5	0,4	9,0	9,0	0,45	7,5	7,5	18	15
МН 2,5—0,54	2,5	0,54	7,9	7,0	0,60	5,6	5,3	700	550
МН 2,5—0,72	2,5	0,72	12,0	12,0	0,80	10,0	10,0	160	120
МН 3,0—0,14	3,0	0,14	3,8	3,7	0,17	3,0	3,0	10	6
МН 3,5—0,14	3,5	0,14	3,8	3,7	0,17	3,0	3,0	50	45
МН 3,5—0,26	3,5	0,26	7,6	7,5	0,28	6,2	6,2	50	30
МН 6,3—0,3	6,3	0,3	9,0	8,5	0,34	7,0	6,5	1500	1000
МН 6,5—0,34	6,5	0,34	17,6	17,6	0,38	14,0	14,0	200	150
МН 13,5—0,16	13,5	0,16	12,0	12,0	0,18	9,5	9,5	350	300
МН 18—0,10	18,0	0,1	12,0	12,0	0,12	9,5	9,5	350	250
МН 26—0,12—1	26,0	0,12	12,0	12,0	0,15	10,0	10,0	500	400
МН 26—0,12	26,0	0,12	12,0	12,0	0,15	10,0	10,0	500	400
МН 3С—0,12	36	0,12	17,0	16,0	0,15	12,0	12,0	170	150

7.5. Сигнальные лампы накаливания

Миниатюрная лампа накаливания — это лампа накаливания длиной до 30 мм и с колбой диаметром до 18 мм (ГОСТ 15049—74). Лампы предназначены для применения в качестве индикаторов, для подсветки шкал радиоустройств и др.

В обозначении типа ламп (ГОСТ 2204—74) буквы и числа означают: МН — миниатюрная; числа, следующие за буквами, — номинальное напряжение в вольтах; числа, стоящие после тире, — номинальный электрический ток в амперах; число, стоящее после второго тире, — отличительную особенность лампы от базовой модели. Пример условного обозначения электрической миниатюрной лампы накаливания на номинальное напряжение 36 В и номинальный ток 0,12 А:

Лампа МН36 — 0,12 ГОСТ 2204—74.

Основные параметры миниатюрных ламп накаливания приведены в табл. 7.11.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

8.1. Основные понятия физики полупроводников

Полупроводниковые приборы представляют собой широкий класс приборов, использующих различные свойства полупроводниковых материалов. К полупроводниковым обычно относят материалы, удельное сопротивление которых при комнатной температуре составляет $10^{-5} \dots 10^8$ Ом·м. По величине удельного сопротивления они занимают промежуточное положение между металлами и диэлектриками.

Проводимость полупроводниковых материалов зависит от количества и природы вводимых примесей, а так же от воздействия электрического и магнитного полей, света, ионизирующего излучения и других внешних факторов.

В полупроводниковых приборах электрический ток вследствие дрейфа (смещения) или диффузии носителей заряда проходит внутри твердого тела — полупроводника. Основой получения носителей заряда является введение примесей в чистый полупроводник.

Атомы в кристалле полупроводника удерживаются на своих местах ковалентными (атомными) связями. Суть такой связи состоит в том, что валентные электроны, принадлежащие соседним атомам, вступают в парную электронную связь, т. е. движутся строго согласованно. У этих электронов появляются общие орбиты, на которых может находиться не более двух электронов. Например, атом германия или кремния содержит четыре валентных электрона, образующих ковалентные связи с четырьмя валентными электронами соседних атомов (рис. 8.1). Каждая парноэлектронная связь изображается двумя черточками. В кружках, изображающих атомы, ставят цифры, указывающие валентность атомов кристалла.

Кристаллическое твердое тело — это единая система атомов, связанных между собой валентными связями. Каждый электрон, входящий в состав атома, обладает некоторой определенной энергией и орбитальной скоростью (находится на определенном энергетическом уровне). Поэтому он может двигаться вокруг ядра только по определенным орбитам (энергетическим уровням). Всякое перемещение электрона с одного уровня на другой происходит только в результате изменения его энергии. Совокупность уровней образует *энергетический спектр* электронов атома. Энергетический спектр электронов имеет прерывистую структуру. Перемещение

электрона с более низкого уровня на более высокий происходит в том случае, если ему сообщается дополнительная энергия извне. Обратное перемещение электрона сопровождается потерей им энергии.

Если атомы вещества находятся друг от друга на больших расстояниях, их электрические поля практически не взаимодействуют. При сближении атомов в кристалле каждый энергетический уровень электронов атома расщепляется на полосу энергетических уровней (зону).

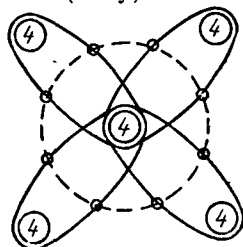


Рис. 8.1. Образование ковалентных связей в кристалле полупроводника

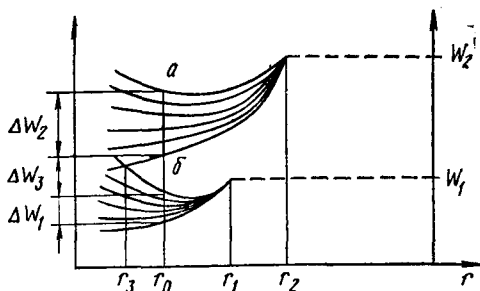


Рис. 8.2. Образование энергетических зон в системе из шести атомов

На рис. 8.2 схематически показано расщепление энергетических уровней W_1 и W_2 электронов в одиночном атоме при образовании системы из шести одинаковых атомов. При достаточно большом расстоянии между атомами их волновые функции не перекрываются. При сближении атомов до расстояния $r=r_2$ перекрываются волновые функции внешних электронов, находящихся в состоянии W_2 , и происходит расщепление этого уровня на шесть дискретных уровней. Дальнейшее уменьшение расстояния до величины $r=r_1$ сопровождается перекрытием волновых функций электронов, находившихся на уровне W_1 , и этот уровень расщепляется. Если расстояние между атомами $r=r_0$, то в системе образуются две совокупности дискретных энергетических состояний, лежащих в интервале ΔW_1 и ΔW_2 и называемых *энергетическими зонами*. Верхний энергетический уровень в таком интервале называют *потолком зоны*, нижний — *дном* ее. Энергетические зоны ΔW_1 и ΔW_2 при $r=r_0$ разделены промежутком ΔW_3 , не содержащим энергетических состояний. Такой энергетический промежуток принято называть *зоной запрещенных уровней* или просто *запрещенной зоной*. Запрещенные зоны соответствуют таким значениям энергии, которыми электрон не может обладать в кристаллической решетке. Это является следствием дискретности энергетических состояний в атоме. При дальнейшем сближении атомов наступает перекрытие энергетических зон ΔW_1 и ΔW_2 , т. е. заполнение запрещенной зоны ΔW_3 .

Как известно, атомы веществ содержат ряд электронных оболочек. Максимально возможное число электронов в каждой из них определяется из формулы $z=2n^2$, где n — главное квантовое число.

По мере увеличения числа n возрастают и энергии электронов в атоме. Наиболее высокие энергетические уровни (в невозбужденном состоянии атома) занимают валентные электроны, находящиеся в последней незаполненной оболочке. Еще выше располагаются энергетические уровни возбуждения, занимаемые валентными электронами при возбуждении атома. Электроны стремятся занять уровни с наименьшей энергией. Поэтому нижние уровни заполнены электронами, а верхние — пусты. Такое состояние атома называют *невозбужденным*.

При объединении атомов в систему, т. е. при сближении их, в первую очередь расщепляются энергетические уровни с большей энергией, т. е. уровни возбуждения, образуя *зону возбуждения*, или *зону проводимости*. При дальнейшем уменьшении расстояния между атомами происходит расщепление уровней валентных электронов, образующих валентную зону. При тех межуатомных расстояниях, которые характерны для кристалла твердого тела, расщепление энергетических уровней электронов внутренних оболочек незначительно, и на энергетической диаграмме кристалла они образуют ряд очень узких зон нормальных уровней, разделенных широкими запрещенными зонами.

Валентная зона и зона проводимости представляют наибольший интерес, так как от энергетического состояния электронов в этих зонах зависят электрические свойства тел.

Энергетические состояния электронов в твердом теле принято характеризовать энергетическими диаграммами. Электрические свойства твердых тел находятся в зависимости от характера его зонной диаграммы и, в частности, от взаимного расположения валентной зоны и зоны проводимости. Электроны, находящиеся на энергетических уровнях этих зон, могут при определенных условиях принимать участие в процессах переноса заряда. В соответствии с взаимным расположением этих зон твердые тела условно делят на металлы (проводники), полупроводники и диэлектрики (непроводники).

У *металлов* валентная зона и зона проводимости перекрываются при межуатомных расстояниях, равных периоду кристаллической решетки (рис. 8.3, а). Запрещенная зона у них отсутствует, т. е. все валентные электроны участвуют в проводимости.

У *полупроводников* заполненная валентная зона отделена от зоны проводимости небольшой запрещенной зоной 0,5...3 эВ (рис. 8.3, б). За счет энергии, полученной извне (тепло, свет, электрическое поле и др.), электроны валентной зоны могут преодолеть запрещенную зону и частично заполнить зону проводимости, обеспечив незначительную электропроводность материалу.

В *диэлектриках* ширина запрещенной зоны велика (>3 эВ), поэтому внешними воздействиями невозможно сообщить электрону энергию, соответствующую зоне проводимости. Валентная зона у них целиком заполнена, а в зоне проводимости электроны отсутствуют. Электропроводность таких веществ практически равна нулю (рис. 8.3, в).

В кристаллах германия и кремния зона уровней валентных электронов полностью занята, поскольку каждый атом дополняет внешнюю оболочку до восьми электронов. Поэтому ее называют *заполненной зоной*. Она отделена от ближайшей зоны проводимости запрещенной зоной с шириной ΔW_3 (рис. 8.4). У германия $\Delta W_3 = 0,72$ эВ, у кремния $\Delta W_3 = 1,12$ эВ.

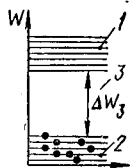
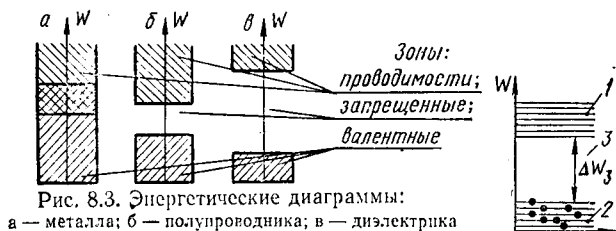


Рис. 8.4. Энергетическая диаграмма полупроводника:

- 1 — зона проводимости;
- 2 — валентная зона;
- 3 — запрещенная зона

Рассмотрим механизм электропроводности в чистом кристалле кремния. При температуре абсолютного нуля все связи между атомами в таком кристалле заполнены, т. е. подвижные носители заряда отсутствуют. При нагреве полупроводника вследствие теплового возбуждения один из электронов, участвующий в парноэлектронной связи, может получить энергию, превышающую ΔW_3 . Этот электрон покидает ковалентную связь и переходит в зону проводимости, где энергия электрона может измениться под воздействием сил электрического поля. Вследствие этого возможно направленное перемещение его в электрическом поле. Поэтому переход электрона в зону проводимости означает появление *электронной электропроводности*.

Одновременно с появлением электрона в зоне проводимости в валентной зоне возникает незаполненная (вакантная) связь вблизи того атома, от которого ушел электрон. Ее называют *дыркой*. Уход электрона из ковалентной связи нарушает электрическую нейтральность атома. Положительный заряд его ядра оказывается некомпенсированным на один элементарный заряд. Поскольку этот валентный электрон был общим для двух атомов (участвовал в ковалентной связи), то уход электрона приводит к частичной ионизации двух соседних атомов.

С уходом электрона из валентной связи появляется свободное место, которое может быть занято одним из валентных электронов соседних связей. Переход электрона из соседней связи соответствует перемещению дырки в обратном направлении. Из связи в связь также перемещается и положительный заряд. Траектория перемещения дырки носит хаотический характер до тех пор, пока отсутствует электрическое поле. Если же к кристаллу приложить разность потенциалов, то положительный заряд (дырка) будет перемещаться вдоль сил поля. Направленное движение дырки в электрическом поле и есть протекание электрического тока. Строго говоря, носителями заряда и в этом случае являются электроны. Перенос заряда осуществляется за счет поочередного перехода электронов из одной связи в другую, т. е. за счет поочередного

перемещения валентных электронов в валентной зоне. Однако практически гораздо удобнее рассматривать непрерывное движение положительного заряда, образующегося в незаполненной связи, чем поочередное движение электронов из связи в связь. Движение дырки есть поочередная ионизация неподвижных атомов.

Наличие электронов в зоне проводимости приводит к появлению электронной электропроводности, или *n*-электропроводности, а наличие дырок вызывает появление *дырочной электропроводности*, или *p*-электропроводности. Суммарную электропроводность в химически чистом полупроводнике называют *собственной электропроводностью*.

Необходимо заметить, что процесс образования электронов и дырок является обратимым. Свободный электрон может возвратиться при определенных условиях в нарушенную связь, т. е. перейти из зоны проводимости в валентную зону, заполняя в ней один из свободных уровней. При этом энергия электрона передается кристаллической решетке или испускается в виде электромагнитных излучений. Этот процесс называют *рекомбинацией*.

При отсутствии внешнего электрического поля электроны и дырки в кристалле совершают хаотическое тепловое движение. Если же к кристаллу приложить напряжение, то носители заряда будут перемещаться направленно. Такое движение их называют *дрейфом*. Дрейф электронов создает дрейфовый ток.

На процесс образования носителей заряда большое влияние оказывает наличие атомов примесей. Например, при введении в германий 0,001% примеси его проводимость увеличивается в десять тысяч раз.

Роль примеси выполняют также различные нарушения правильной структуры кристаллической решетки (пустые узлы, дислокации или сдвиги, возникающие при пластической деформации кристалла, микротрещины и т. д.). Такие дефекты кристалла влияют на время жизни носителей заряда, выполняя роль центров генерации, рекомбинации и захвата электронов. В германии, например, дислокации образуют в запрещенной зоне дополнительные энергетические уровни.

Примеси в кристалле полупроводника ведут себя двояко: они либо отдают свой электрон, либо захватывают электрон из решетки основного кристалла, создавая тем самым избыток электронов или дырок.

Если в структуру чистого германия или кремния ввести атом вещества, относящегося к пятой группе периодической системы, то этот атом также образует ковалентные связи с четырьмя соседними атомами чистого кристалла. Однако атомы этих примесей имеют во внешней оболочке не четыре, а пять валентных электронов. При замещении атома чистого кристалла атомом примеси четыре валентных электрона примеси вступают в ковалентные связи с четырьмя соседними атомами кристалла полупроводника, а пятый электрон примеси оказывается избыточным. Он связан с атомом примеси лишь кулоновскими силами, и поэтому его энер-

гетическое состояние более высокое, а энергия связи с атомом значительно меньше энергии связи остальных четырех электронов. Получив небольшое количество дополнительной энергии, пятый электрон может легко покинуть свой атом. Энергию, необходимую для переброса электрона примеси в зону проводимости, называют *энергией активации донорной примеси*. Уход электрона превращает атом примеси в положительно заряженный ион. Последний прочно связан с кристаллической решеткой и не перемещается подобно дырке.

Увеличивая число атомов примеси в кристалле германия или кремния, тем самым увеличивают содержание в нем свободных электронов. При этом содержание дырок не изменяется, как это имело место в случае собственной проводимости. Если концентрация электронов существенно превышает концентрацию дырок, то можно считать, что в данном кристалле основными носителями заряда являются электроны. Доля собственной проводимости в таком полупроводнике оказывается ничтожной.

Такие полупроводники называют *электронными* или *n-полупроводниками*. Атомы же примеси, поставляющие электроны в зону проводимости, называют *донорами*.

Если в кристаллическую решетку чистого кристалла полупроводника вводится атом вещества, относящегося к третьей группе периодической системы, то он образует только три заполненные ковалентные связи. Четвертая связь остается незаполненной, однако она не несет заряда, а атом примеси и атом кристалла полупроводника являются электрически нейтральными. При небольшом тепловом возбуждении электрон одной из соседних заполненных ковалентных связей может перейти на место этой незаполненной связи. Во внешней оболочке примеси при этом появляется лишний электрон, и атом примеси превращается в отрицательно заряженный ион. Нарушается и электрическая нейтральность той связи, откуда электрон перешел в свободную связь примеси. В этой связи появляется положительный заряд, т. е. образуется дырка.

Атомы примеси, захватывающие электроны из валентной зоны полупроводника, называют *акцепторами*. Энергию, необходимую для переброса электрона из валентной зоны на уровень примеси, называют *энергией активации акцепторной примеси*. В полупроводнике с акцепторной примесью *основными* носителями заряда являются дырки, *неосновными* — электроны. Полупроводники с такими примесями называют *дырочными* или *p-полупроводниками*.

Часто примесные полупроводники содержат как доноры, так и акцепторы. У таких полупроводников характер проводимости зависит от разности концентраций доноров и акцепторов.

8.2. Электронно-дырочный переход

Под электронно-дырочным переходом понимают контакт двух полупроводников с различной проводимостью. Допустим, что такие два полупроводника созданы введением ак-

цепторной примеси в чистый n -полупроводник (рис. 8.5). В p -области полупроводника концентрация дырок, (основных носителей заряда) значительно превышает концентрацию электронов (неосновных носителей). В n -области, наоборот, концентрация электронов (основных носителей) превышает концентрацию дырок (неосновных носителей). Таким образом, при контакте полупроводников с различной проводимостью по обе стороны от границы раздела

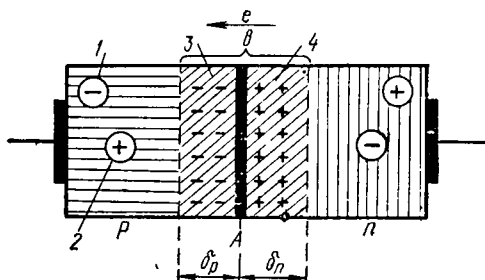


Рис. 8.5. Образование электронно-дырочного перехода:
1 — неосновные носители; 2 — основные носители; 3 — акцепторы;
4 — доноры

областей возникают большие неравенства (градиенты) концентраций электронов и дырок. Наличие *градиента концентраций носителей заряда* приводит к диффузионному их движению в сторону меньшей концентрации: дырок — в n -область, электронов — в p -область. Вследствие этого будет протекать диффузионный ток, направленный из p -области в n -область. Электрическая нейтральность полупроводников нарушается, с одной стороны, по причине ионизации доноров и акцепторов, с другой, — по причине увеличения концентрации электронов (вследствие диффузионного движения их) в дырочной области и дырок в электронной области. В результате дырочная область приобретает отрицательный заряд, а электронная — положительный. В узкой части вблизи границы раздела областей возникает контактная разность потенциалов и, естественно, электрическое поле с напряженностью e , препятствующее дальнейшей диффузии основных носителей. Его называют *полем диффузии*. Пограничную область, обедненную основными носителями и вследствие этого обладающую пониженной электропроводностью, называют *областью объемного заряда* или *запирающей областью*: $V = \delta_n + \delta_p$.

Несмотря на то что диффузионные движения электронов и дырок происходят в противоположных направлениях, токи, обусловленные перемещением этих частиц, текут в одном направлении — вдоль вектора поля, так как заряды электронов и дырок противоположны по знаку. Поле диффузии, препятствуя движению основных носителей, ускоряет движение неосновных носителей заряда. Последние перебрасываются полем диффузии через границу контакта, создавая ток неосновных носителей. Его называют *дрейфовым током* или *током проводимости*. Дрейфовый ток неосновных

носителей по направлению противоположен диффузионному току основных носителей. Рост встречных токов будет продолжаться до тех пор пока не установится динамическое равновесие между ними. По мере установления равновесия при контакте диффузионный ток уменьшается, а дрейфовый растет. При равновесии сумма диффузионного и дрейфового токов равна нулю. В равновесном состоянии ширина запирающей области $B \approx 10^{-4}$ см. Эту область называют p — n -переходом. Граница раздела областей обеднена основными носителями, вследствие чего ее сопротивление оказывается значительно большим, чем сопротивление нейтральных участков кристалла. Поэтому его называют также *запирающим слоем*.

Если к переходу присоединен внешний источник напряжения с положительным полюсом у p -области (анод) и отрицательным у n -области (катод), то вследствие появившегося при этом внешнего электрического поля E , направленного против поля запирающей области, начнется перемещение основных носителей заряда от электродов к границе (рис. 8.6,а). Обедненные пограничные области пополняются основными носителями заряда, в результате чего понижается сопротивление запирающего слоя и нарушается ранее установившееся динамическое равновесие. Электроны из n -области и дырки из p -области интенсивно перемещаются, и через границу потенциального барьера начинает протекать электрический ток. Этот процесс будет проходить тем интенсивнее, чем ниже потенциальный барьер, т. е. чем выше приложенное напряжение.

При достаточном напряжении весь объемный заряд компенсируется дырками и свободными электронами, запирающий слой исчезает и сопротивление структуры становится минимальным. Через структуру протекает прямой ток $I_{пр}$, определяемый величиной приложенного напряжения $U_{пр}$ и внешним сопротивлением нагрузки.

Если изменить полярность приложенного к структуре напряжения (рис. 8.6,б), то внешнее электрическое поле будет складываться с полем диффузии, а основные носители заряда будут перемещаться от границы к электродам. Обедненные основными носителями пограничные области расширятся, прохождение прямого тока станет невозможным, и через монокристаллическую структуру будет протекать лишь обратный ток, обусловленный неосновными носителями заряда, перемещению которых способствует потенциальный барьер. Однако при этом величина обратного тока мала, так как мала концентрация неосновных носителей.

Таким образом, электронно-дырочный переход обладает свойством *односторонней проводимости*. В прямом направлении его сопротивление мало, в обратном — велико.

Под воздействием прямого внешнего напряжения, приложенного к p — n -переходу, основные носители заряда втягиваются в соседнюю нейтральную область кристалла, где они оказываются неосновными. Это явление получило название *инъекции неосновных носителей заряда*. Если концентрация дырок в p -области больше концентрации электронов в n -области, то происходит инжекция ды-

рок из p -области в n -область, что равносильно испусканию дырок из p -области в часть n -области.

Вольт-амперная характеристика электронно-дырочного перехода показана на рис. 8.6, в. Крутая (экспоненциальная) прямая ветвь характеристики соответствует прямым напряжениям, не превышающим десятых долей или единиц вольт.

Обратная ветвь характеристики показывает, что при повышении обратного напряжения обратный ток быстро достигает постоянного значения I_s . Физически это означает, что неосновные носители заряда вытягиваются полем без остатка и обратный ток перестает зависеть от приложенного обратного напряжения.

При значительном увеличении обратного напряжения, приложенного к электронно-дырочному переходу, наблюдается резкое возрастание обратного тока. Это явление называют *пробоем электронно-дырочного перехода*. Различают три вида (механизма) пробоя: туннельный, лавинный и тепловой (рис. 8.7). Первые два связаны с увеличением напряженности электрического поля, третий — с увеличением рассеиваемой мощности и соответственно температуры.

Туннельный пробой p — n -перехода возникает в узких электронно-дырочных переходах (порядка единиц микрометров) при воздействии на них мощного обратного поля с напряженностью порядка 10^6 В/см.

Лавинный пробой p — n -перехода обычно развивается в переходах, образованных слаболегированными полупроводниками с достаточно большой шириной запирающего слоя. В этом случае неосновные носители, перемещаясь в диффузионном поле, под воздействием высокого обратного напряжения приобретают энергию, достаточную для ионизации атомов полупроводника. Происходит резкое (лавинное) «размножение» носителей заряда и как следствие резкое возрастание обратного тока при практически неизменном обратном напряжении. Процесс этот можно ограничить и сделать управляемым.

Тепловой пробой p — n -перехода возникает вследствие разогрева перехода большим обратным током. При увеличении обратного напряжения растет рассеиваемая в переходе мощность и, следовательно, температура кристалла, что приводит к увеличению числа носителей заряда, обратного тока, рассеиваемой мощности и температуры перехода. При недостаточном теплоотводе это может привести к разрушению электронно-дырочного перехода.

8.3. Определения терминов основных физических процессов и электрических параметров полупроводниковых диодов

К основным терминам, характеризующим физические процессы в полупроводниках, можно отнести следующие.

Простой полупроводник — полупроводник, основной состав которого образован атомами одного химического элемента.

Сложный полупроводник — полупроводник, основной состав которого образован атомами двух или большего числа химических элементов. Сложный полупроводник является химическим соединением или сплавом.

Собственный полупроводник — полупроводник, не содержащий донорных и акцепторных примесей.

Примесный полупроводник — полупроводник, содержащий донорные и (или) акцепторные примеси.

Скомпенсированный полупроводник — примесный полупроводник, в котором концентрации ионизованных доноров и акцепторов равны.

Электронная электропроводность — электропроводность полупроводника, обусловленная в основном перемещением электронов проводимости.

Дырочная электропроводность — электропроводность полупроводника, обусловленная в основном перемещением дырок проводимости.

Собственная электропроводность — электропроводность полупроводника, обусловленная генерацией пар: электрон проводимости — дырка проводимости (при любом способе возбуждения, например тепловом, световом и пр.).

Примесная электропроводность — электропроводность полупроводника, обусловленная ионизацией атомов донорной и (или) акцепторной примесей (при любом способе возбуждения).

Энергетическая зона — область значений полной энергии электронов в кристалле, характеризующаяся минимальным и максимальным значениями энергии.

Разрешенная зона — энергетическая зона или совокупность нескольких перекрывающихся энергетических зон, образовавшихся в результате расщепления из какого-либо одного или нескольких энергетических уровней изолированных атомов при объединении их в кристалл.

Заполненная зона — разрешенная зона, в которой при абсолютном нуле температуры все энергетические состояния заняты электронами.

Валентная зона — верхняя из заполненных зон (зона наибольших энергий).

Свободная зона — разрешенная зона, в которой отсутствуют электроны при абсолютном нуле температуры.

Зона проводимости — свободная зона, на уровнях которой при возбуждении (например, термическом) могут находиться электроны. Обычно зона проводимости является нижней свободной зоной.

Поверхностная зона — разрешенная зона, образованная поверхностными уровнями кристалла.

Примесная зона — энергетическая зона, образованная совокупностью примесных уровней одного типа, находящаяся полностью или частично в запрещенной зоне.

Запрещенная зона — область значений энергии, которыми не может обладать электрон в идеальном кристалле. В полупроводни-

ках обычно рассматривают запрещенную зону, разделяющую валентную зону и зону проводимости.

Под «шириной запрещенной зоны» понимают в этом случае разность энергий между нижним уровнем зоны проводимости и верхним уровнем валентной зоны.

Основные носители заряда — подвижные носители заряда, концентрация которых в данном полупроводнике преобладает: электроны в полупроводнике n -типа и дырки в полупроводнике p -типа. Под *подвижным носителем заряда* в полупроводнике понимают электроны и дырки проводимости.

Неосновные носители заряда — подвижные носители заряда, концентрация которых в данном полупроводнике меньше, чем концентрация основных носителей заряда: электроны в полупроводнике p -типа и дырки в полупроводнике n -типа.

Неравновесные носители заряда — электроны или дырки проводимости, не находящиеся в термодинамическом равновесии (как по концентрации, так и по энергетическому распределению).

Генерация пары носителей заряда — возникновение пары: электрон проводимости — дырка проводимости в результате воздействия теплоты, света, электрического поля, ионизирующего излучения и т. д.

Рекомбинация носителей заряда — исчезновение пары: электрон проводимости — дырка проводимости.

Энергия ионизации акцептора — минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону валентной зоны, чтобы перевести его на акцепторный уровень.

Энергия ионизаций донора — минимальная энергия, которую необходимо сообщить электрону, находящемуся на донорном уровне, чтобы перевести его в зону проводимости.

Электронно-дырочный переход — переход между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электропроводность n -типа, а другая — p -типа.

Электронно-электронный переход ($n-n^+$ -переход) — переход между двумя областями полупроводника n -типа, обладающими различной удельной электрической проводимостью.

Дырочно-дырочный переход ($p-p^+$ -переход) — переход между двумя областями полупроводника p -типа, обладающими различной удельной электрической проводимостью. Знак «+» условно обозначает область с более высокой удельной электрической проводимостью.

Плоскостной переход — переход, у которого линейные размеры, определяющие его площадь, значительно больше толщины.

Точечный переход — переход, все размеры которого меньше чем характеристическая длина, определяющая физические процессы в переходе и в окружающих его областях. Характеристической длиной может быть толщина области пространственного заряда, диффузионная длина и т. д.

Диффузионный переход — переход, образованный в результате диффузии примеси в полупроводнике.

Планарный переход — диффузионный переход, образованный в результате диффузии примеси сквозь отверстие в защитном слое, нанесенном на поверхность полупроводника.

Конверсионный переход — диффузионный переход, образованный в результате обратной диффузии примеси из полупроводника в соседнюю область, которая может быть металлом или полупроводником.

Поверхностно-барьерный переход — переход, образованный при нанесении металла на поверхность полупроводника за счет создания у поверхности полупроводника инверсного слоя.

Сплавной переход — переход, образованный в результате сплавления в полупроводник и последующей рекристаллизации металла или сплава, содержащего донорные и (или) акцепторные примеси.

Микросплавной переход — сплавной переход, образованный в результате сплавления на малую глубину слоя металла или сплава, предварительно нанесенного на поверхность полупроводника.

Выращенный переход — переход, образованный при выращивании полупроводника из расплава.

Эпитаксиальный переход — переход, образованный эпитаксиальным наращиванием. Под эпитаксиальным наращиванием понимается создание на монокристаллической подложке слоя полупроводника, сохраняющего структуру подложки.

Обедненный слой — слой полупроводника, в котором из-за наличия потенциального барьера концентрация основных носителей меньше разности концентрации ионизованных доноров и акцепторов.

Запирающий слой — обедненный слой между двумя областями полупроводника с различными типами электропроводности или между полупроводником и металлом.

Обогащенный слой — слой полупроводника, в котором из-за наличия потенциального барьера концентрация основных носителей больше разности концентрации ионизованных доноров и акцепторов.

Инверсный слой — слой у поверхности полупроводника, в котором тип электропроводности отличается от типа электропроводности в объеме полупроводника в связи с наличием электрического поля поверхностных состояний или внешнего электрического поля у поверхности.

Мезаструктура — конструктивно-технологическое исполнение полупроводникового прибора, для которого характерно уменьшение площади перехода путем удаления периферийных участков кристалла полупроводника.

Модуляция толщины базы — изменение толщины базы полупроводникового прибора в результате изменения толщины слоев пространственного заряда электрических переходов, прилегающих к базе, при изменении напряжений на них.

Накопление неравновесных носителей заряда в базе — увеличе-

ние концентрации и величины заряда неравновесных носителей заряда в базе полупроводникового прибора в результате увеличения инжекции или в результате генерации носителей заряда.

Рассасывание неравновесных носителей заряда в базе — уменьшение концентрации и величины заряда неравновесных носителей заряда в базе полупроводникового прибора в результате уменьшения инжекции или в результате рекомбинации.

Установление прямого сопротивления диода — переходный процесс, в течение которого прямое сопротивление перехода устанавливается до стационарного значения после быстрого включения перехода в прямом направлении.

Примечание. Под словом «быстрый» понимается изменение тока или напряжения за время, сравнимое или меньшее постоянной времени переходного процесса установления или восстановления сопротивления.

Восстановление обратного сопротивления диода — переходный процесс, в течение которого обратное сопротивление перехода восстанавливается до стационарного значения после быстрого переключения перехода с прямого направления на обратное.

Структура полупроводникового прибора — система граничащих друг с другом областей полупроводника, различных по типу электропроводности или по величине удельной электрической проводимости, обеспечивающая выполнение полупроводниковым прибором его функции.

ГОСТ 20004—74 устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины, определения и буквенные обозначения параметров выпрямительных, импульсных и универсальных диодов, а также параметров, являющихся общими для туннельных, сверхвысокочастотных диодов, варикапов, стабилитронов и генераторов шума.

Постоянное прямое напряжение $U_{пр}$ — значение постоянного напряжения на диоде при заданном постоянном прямом токе.

Постоянное обратное напряжение $U_{обр}$ — значение постоянного напряжения, приложенного к диоду в обратном направлении.

Импульсное прямое напряжение $U_{пр, и}$ — пиковое значение прямого напряжения на диоде при заданном импульсе прямого тока.

Импульсное обратное напряжение $U_{обр, и}$ — пиковое значение обратного напряжения на диоде, включая как однократные выбросы, так и периодически повторяющиеся.

Среднее прямое напряжение $U_{пр, ср}$ — среднее за период значение прямого напряжения при заданном среднем значении прямого тока.

Пробивное напряжение $U_{проб}$ — значение обратного напряжения, вызывающего пробой перехода, при котором обратный ток через переход достигает заданного значения.

Пороговое напряжение $U_{пор}$ — значение постоянного прямого напряжения в точке пересечения прямой линии, аппроксимирующей вольт-амперную характеристику в области больших токов, с осью напряжения.

Постоянный прямой ток $I_{\text{дпр}}$ — значение постоянного тока, протекающего через диод в прямом направлении.

Постоянный обратный ток $I_{\text{обр}}$ — значение постоянного тока, протекающего через диод в обратном направлении при заданном обратном напряжении.

Средний выпрямленный ток $I_{\text{вп, ср}}$ — среднее за период значение выпрямленного тока, протекающего через диод (с учетом обратного тока).

Импульсный прямой ток $I_{\text{пр, и}}$ — пиковое значение импульса прямого тока при заданной длительности, скважности и форме.

Средний прямой ток $I_{\text{пр, ср}}$ — среднее за период значение прямого тока.

Средний обратный ток $I_{\text{обр, ср}}$ — среднее за период значение обратного тока.

Средняя рассеиваемая мощность $P_{\text{ср}}$ — средняя за период мощность, рассеиваемая диодом, при протекании тока в прямом и обратном направлениях.

Дифференциальное сопротивление $r_{\text{диф}}$ — отношение приращения напряжения на диоде к вызвавшему его малому приращению тока.

Прямое сопротивление по постоянному току $r_{\text{пр}}$ — значение сопротивления диода, полученное как частное от деления постоянного прямого напряжения на диоде и соответствующего постоянного прямого тока.

Обратное сопротивление по постоянному току $r_{\text{обр}}$ — значение сопротивления диода, полученное как частное от деления постоянного обратного напряжения на диоде и соответствующего постоянного обратного тока.

Общая емкость $C_{\text{д}}$ — емкость, измеренная между выводами диода при заданных напряжении смещения и частоте.

Диапазон частот Δf — разность предельных значений частот, при которых средний выпрямленный ток диода не менее заданной доли его значения на низшей частоте.

Время установления прямого напряжения $t_{\text{уст}}$ — интервал времени от момента подачи импульса прямого тока на диод (при нулевом начальном напряжении смещения) до достижения заданного значения прямого напряжения на диоде.

Время восстановления обратного сопротивления $t_{\text{вос}}$ — интервал времени от момента прохождения тока через нуль после переключения диода с заданного прямого тока в состояние заданного обратного напряжения до момента достижения обратным током заданного его низкого значения.

Заряд переключения $Q_{\text{пк}}$ — часть накопленного заряда, вытекающая во внешнюю цепь при изменении направления тока с прямого на обратное.

К максимально допустимым параметрам¹ относятся следующие.

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение
 $U_{\text{обр, макс}}$

Максимально допустимое импульсное обратное напряжение
 $U_{обр, и, макс}$.
 Максимально допустимый постоянный прямой ток $I_{пр, макс}$.
 Максимально допустимый импульсный прямой ток $I_{пр, и, макс}$.
 Максимально допустимый средний прямой ток $I_{пр, ср, макс}$.
 Максимально допустимый средний выпрямленный ток $I_{вп, ср, макс}$.
 Максимально допустимая средняя рассеиваемая мощность
 $P_{ср, макс}$.

8.4. Классификация и система условных обозначений полупроводниковых диодов, столбов, селеновых элементов и выпрямителей

По назначению диоды делят на выпрямительные, универсальные, импульсные и стабилизирующие.

Выпрямительный полупроводниковый диод — полупроводниковый диод, предназначенный для выпрямления переменного тока.

Силовой выпрямительный полупроводниковый диод — выпрямительный полупроводниковый диод, предназначенный для применения в мощных электротехнических установках.

Выпрямительный полупроводниковый столб — набор выпрямительных полупроводниковых диодов, соединенных последовательно и собранных в единую конструкцию, имеющую два вывода. В состав мощных выпрямительных столбов и выпрямительных блоков входят теплоотводящие и крепежные приспособления.

Выпрямительный полупроводниковый блок — набор выпрямительных полупроводниковых диодов, соединенных по определенной электрической схеме и собранных в единую конструкцию, имеющую более двух выводов.

Преобразовательный полупроводниковый диод — полупроводниковый диод, предназначенный для применения в качестве смесителя, умножителя и модулятора.

Диоды изготовляют из германия, кремния, арсенида галлия и фосфида галлия. Германиевые диоды работают при температурах не выше $+70^{\circ}\text{C}$, кремниевые — не выше $+125^{\circ}\dots 150^{\circ}\text{C}$. Применение новых полупроводниковых материалов позволяет значительно расширить предел рабочих температур. В настоящее время изготовлены диоды, выдерживающие температуру 500°C при токе 1 А и более и напряжении более 150 В. Диоды на основе новых материалов имеют следующие температурные пределы: на основе фосфида индия — 400°C , арсенида галлия — 450°C , фосфида галлия — 1000°C . Через диод из арсенида галлия с площадью в 1 мм^2 можно пропускать в прямом направлении ток до 10 А. К перспективным полупроводниковым материалам относятся также антимоноид нн-

¹ Максимально допустимыми называются параметры конкретных режимов диода, которые обеспечивают их заданную надежность и значения которых не должны превышать при любых условиях эксплуатации.

Когда не возникает сомнения в том, что буквенное обозначение относится к максимально допустимому параметру, допускается опускать индекс «макс».

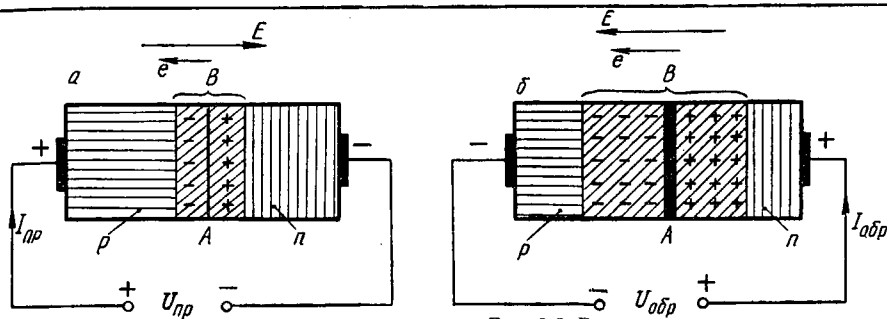


Рис. 8.6. Включение перехода:

а — в прямом направлении; б — в обратном направлении; в — вольт-амперная характеристика

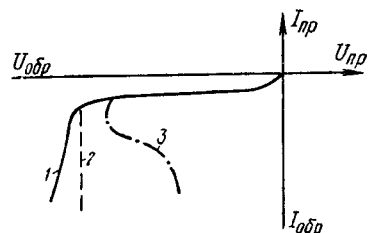
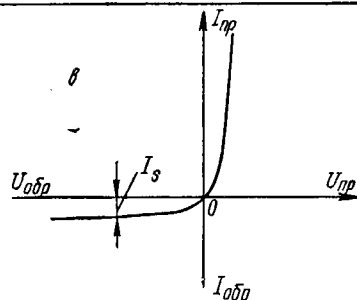


Рис. 8.7. Пробой электронно-дырочного перехода:

1 — туннельный; 2 — лавинный; 3 — тепловой

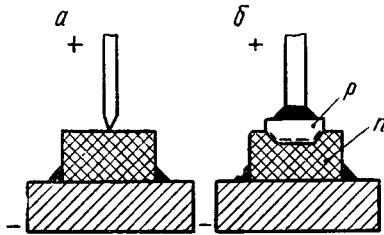
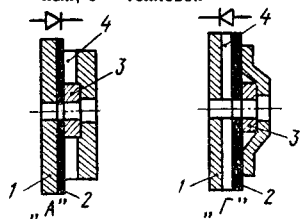


Рис. 8.8. Устройство полупроводниковых диодов:

а — точечного; б — плоскостного сплавного

Рис. 8.9. Устройство селеновых диодов

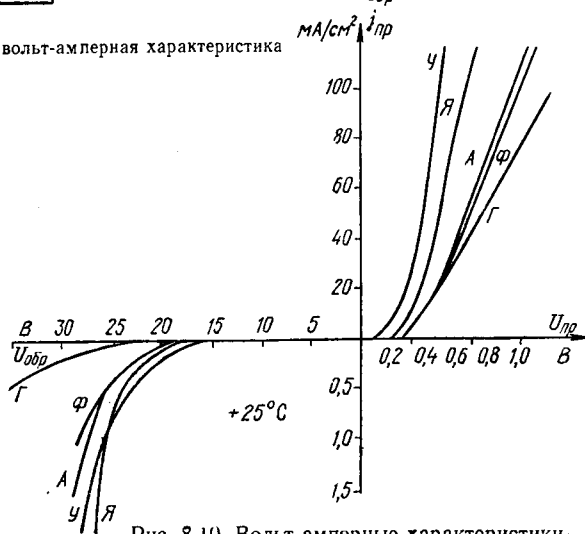


Рис. 8.10. Вольт-амперные характеристики селеновых диодов

дня, карбид кремния и др. Для изготовления слаботочных диодов по-прежнему применяется селен.

В зависимости от конструктивно-технологического признака различают диоды точечные и плоскостные. У *точечных* диодов (рис. 8.8,а) p — n -переход образуется в месте контакта полупроводниковой пластины с острием металлической иглы. У *плоскостных* диодов p — n -переход представляет собой поверхность раздела двух слоев полупроводника с разными типами проводимости (рис. 8.8,б).

Наиболее распространенным способом изготовления плоскостных диодов является *метод сплавления соответствующей примеси в пластину полупроводника*, обладающего определенным типом электропроводности. Сплавные диоды позволяют пропускать значительно большие токи, чем точечные, однако они имеют повышенную междуэлектродную емкость, что ограничивает их применение на высоких частотах.

Для изготовления плоскостных диодов используется и *способ диффузии примесей из жидкой, твердой либо газообразной фазы в исходный полупроводник*. При помощи специальных технологических приемов (электролитическая обработка и др.) получают плоскостные диоды с очень малой площадью переходов — *микроплоскостные диоды* и *диффузионные меза-диоды*. Эти диоды сочетают достоинства плоскостных и точечных диодов.

В соответствии с ГОСТ 10862—72 (не распространяется на диоды с прямым током более 10 А, фотоэлектрические, селеновые и купроксные приборы) обозначение вновь разрабатываемых и модернизируемых полупроводниковых диодов состоит из ряда элементов.

Первый элемент обозначения полупроводниковых приборов определяет исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор. Обозначения исходного материала для приборов, используемых в устройствах широкого применения, установлены следующие:

- германий или соединения германия — Г;
- кремний или соединения кремния — К;
- соединения галлия — А.

Обозначения исходного материала для приборов, используемых в устройствах специального назначения, установлены следующие:

- германий или соединения германия — 1;
- кремний или соединения кремния — 2;
- соединения галлия — 3.

Второй элемент обозначения полупроводниковых приборов определяет подкласс прибора:

- диоды выпрямительные, универсальные, импульсные — Д;
- выпрямительные столбы и блоки — Ц;
- диоды сверхвысокочастотные — А;
- варикапы — В;
- диоды туннельные и обращенные — И;

Табл. 8.1. Условное обозначение третьего элемента полупроводниковых диодов

Полупроводниковые диоды	Обозначения
Выпрямительные:	
а) малой мощности (со средним значением прямого тока не более 0,3А)	1
б) средней мощности (со средним значением прямого тока более 0,3А, но не более 10А)	2
Универсальные (с рабочей частотой не более 1000 МГц)	4
Импульсные:	
а) со временем восстановления обратного сопротивления более 150 нс	5
б) со временем восстановления обратного сопротивления более 30 нс, но не более 150 нс	6
в) со временем восстановления обратного сопротивления более 5 нс, но не более 30 нс	7
г) со временем восстановления обратного сопротивления не менее 1 нс и не более 5 нс	8
д) со временем восстановления обратного сопротивления менее 1 нс	9
Выпрямительные столбы и блоки:	
а) столбы малой мощности (со средним значением прямого тока не более 0,3А)	1
б) столбы средней мощности (со средним значением прямого тока более 0,3А, но не более 10А)	2
в) блоки малой мощности (со средним значением прямого тока, не более 0,3А)	3
г) блоки средней мощности (со средним значением прямого тока более 0,3А, но не более 10А)	4
Сверхвысокочастотные:	
а) смесительные	1
б) детекторные	2
в) параметрические	4
г) регулирующие (переключательные, ограничительные и модуляторные)	5
д) умножительные	6
е) генераторные	7
Варикапы:	
а) подстроечные	1
б) умножительные (варакторы)	2
Туннельные и обращенные:	
а) усилительные	1
б) генераторные	2
в) переключательные	3
г) обращенные	4
Излучающие:	
инфракрасного диапазона	1
видимого диапазона (светодиоды):	
а) с яркостью не более 500 кд/м ²	3
б) с яркостью более 500 кд/м ²	4

диоды излучающие — Л;
генераторы шума — Г;
приборы с объемным эффектом (приборы Ганна) — Б;
стабилизаторы тока — К;
стабилитроны и стабисторы — С.

Третий элемент обозначения диодов определяет назначение прибора и указан в табл. 8.1.

Четвертый, пятый и шестой элементы определяют порядковый номер разработки технологического типа прибора и обозначаются от 01 до 999.

Третий элемент обозначения стабилитронов и стабисторов определяет индекс мощности, *четвертый и пятый* — номинальное напряжение стабилизации (табл. 8.2.)

Табл. 8.2. Условное обозначение третьего, четвертого и пятого элементов полупроводниковых стабилитронов и стабисторов

Стабилитроны и стабисторы	Обозначения	
	Третий элемент	Четвертый и пятый элементы ¹
Мощностью не более 0,3 Вт:		
а) с напряжением стабилизации менее 10 В	1	от 01 до 99
б) с напряжением стабилизации не менее 10 В и не более 99 В	2	от 10 до 99
в) с напряжением стабилизации не менее 100 В и не более 199 В	3	от 00 до 99
Мощностью более 0,3 Вт, но не более 5 Вт:		
а) с напряжением стабилизации менее 10 В	4	от 01 до 99
б) с напряжением стабилизации не менее 10 В и не более 99 В	5	от 10 до 99
в) с напряжением стабилизации не менее 100 В и не более 199 В	6	от 00 до 99
Мощностью более 5 Вт, но не более 25 Вт:		
а) с напряжением стабилизации менее 10 В	7	от 01 до 99
б) с напряжением стабилизации не менее 10 В и не более 99 В	8	от 10 до 99
в) с напряжением стабилизации не менее 100 В и не более 199 В	9	от 00 до 99

¹ При напряжении стабилизации менее 10 В *четвертый элемент* обозначает целое число, а *пятый* — десятые доли напряжения стабилизации.

При напряжении стабилизации не менее 10 В и не более 99 В *четвертый и пятый элементы* обозначают номинальное значение напряжения стабилизации.

При напряжении стабилизации не менее 100 В и не более 199 В *четвертый и пятый элементы* обозначают разность между номинальным значением напряжения стабилизации и 100 В.

Для стабисторов с напряжением стабилизации менее 1 В *пятый элемент* обозначает десятые доли напряжения стабилизации.

Шестой элемент обозначения диодов определяет деление технологического типа на параметрические группы, а стабилитронов и стабисторов — определяет последовательность разработки и обозначается буквами русского алфавита от А до Я.

Обозначение наборов дискретных полупроводниковых приборов производится в соответствии с разновидностью дискретного прибора с добавлением буквы С перед последним элементом обозначения. Примеры обозначения полупроводниковых диодов:

диод полупроводниковый выпрямительный, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, средней мощности, номер разработки 15, группа А — КД215А;

диод полупроводниковый универсальный, предназначенный для устройств широкого применения, германиевый, номер разработки 12, группа А — ГД412А;

диод полупроводниковый импульсный, предназначенный для устройств специального назначения, кремниевый, со временем восстановления обратного сопротивления более 150 нс, номер разработки 04, группа А — 2Д504А;

столб выпрямительный, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, малой мощности, номер разработки 02, группа А — КЦ102А;

блок выпрямительный, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, малой мощности, номер разработки 02, группа А — КЦ302А;

диод полупроводниковый сверхвысокочастотный, смесительный, предназначенный для устройств широкого применения, из арсенида галлия, номер разработки 20, группа А — АА120А;

варикап подстроечный, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, номер разработки 01, группа А — КВ101А;

диод туннельный переключательный, предназначенный для устройств широкого применения, из арсенида галлия, номер разработки 01, группа А — АИ301А;

светодиод, предназначенный для устройств широкого применения, из фенилфосфида галлия, с яркостью не более $500 \frac{\text{кД}}{\text{м}^2}$, номер разработки 02, группа А — АЛ302А;

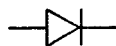
стабилитрон полупроводниковый, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, мощностью не более 0,3 Вт, с напряжением стабилизации 6,8 В, последовательность разработки А — КС168А;

стабистор полупроводниковый, предназначенный для устройств специального назначения, кремниевый, мощностью не более 0,3 Вт, с напряжением стабилизации 0,7 В, последовательность разработки А — 2С107А;

набор полупроводниковых приборов, дискретным прибором которого является импульсный диод, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, со временем восстановления обратного сопротивления более 150 нс, номер разработки 01, группа А — КД501СА.

Табл. 8.3. Условные графические обозначения диодов

Диод. Выпрямительный столб (блок):
общее обозначение



туннельный диод



обращенный диод



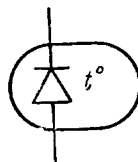
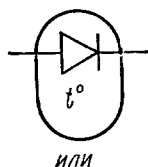
Стабилитрон:
односторонний



двусторонний



Теплоэлектрический диод



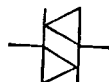
Варикап



Варикапная матрица

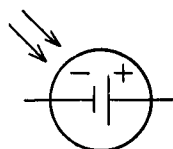


Двунаправленный диод

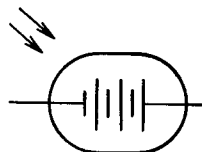


Солнечный фотоэлемент

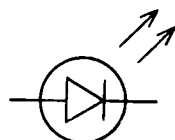
Примечание. Допускается знаки полярности не указывать.



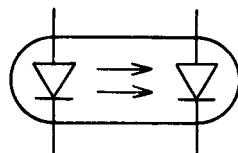
Солнечная фотобатарея



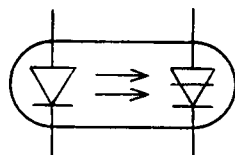
Светодиод



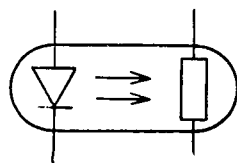
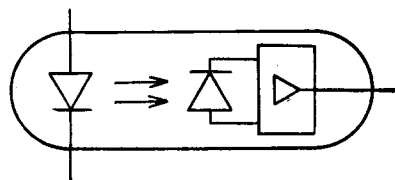
Диодный оптрон



Тиристорный оптрон



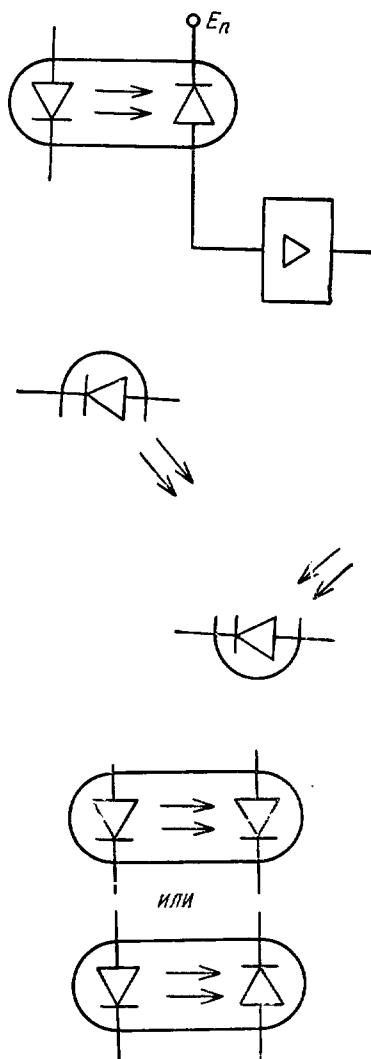
Резисторный оптрон

Диодный оптрон с усилителем,
изображенный:
совмещенно

разнесенно

Примечания: 1. Допускается изображать оптоэлектронные приборы разнесенным способом. При этом знак оптического взаимодействия должен быть заменен знаками оптического излучения и фотоэлектрического эффекта

2. Взаимная ориентация обозначений источника и приемника излучения не устанавливается, а определяется удобством вычерчивания схемы, например:



Условное графическое обозначение полупроводниковых диодов, установленное ГОСТ 2.730—73, приведено в табл. 8.3.

Для полупроводниковых диодов, разработанных до 1964 г., первым элементом обозначения является буква Д, вторым — число, характеризующее назначение прибора, третьим — буква, указывающая разновидность прибора (А, Б, В и т. д.).

Промышленностью в настоящее время освоены и выпускаются семь серий селеновых элементов: А, Г, Я, У, Ф, Е, Л. Основными узлами селеновых элементов являются (рис. 8.9) основание, слой

полупроводника и электроды. Основанием 1 в элементах серий А и Г является алюминиевая пластина толщиной 0,8 мм. На алюминиевом основании строится выпрямительный элемент, оно также является одним из токосъемных электродов. Вторым токосъемным электродом у элементов серии А служит катодный сплав олова с кадмием 3, у элементов серии Г — алюминиевая фольга. Толщина слоя селена составляет 50...60 мкм. У элементов серии А запирающий слой 4 образуется в месте контакта селена 2 и катодного сплава. У элементов серии Г он образуется в месте контакта селена и алюминиевого основания. В селеновых элементах серии Я в целях снижения переходного сопротивления элемента серии А в области контакта селен — алюминий между слоем алюминия, покрытого висмутом, и селеном наносится тонкий слой теллура.

У селеновых элементов серии У в отличие от элементов серии А слой селена образован из ряда отдельных подслоев, отличающихся составом примесей, их величиной и режимами нанесения.

В отличие от элементов серии А основанием элементов серии Ф служит фольга толщиной 0,12 мм. Селеновые элементы серий Е и Л выполнены на базе элементов серии Г. Элементы серии Е отличаются от последних повышенной термостойкостью и предназначаются для эксплуатации при абсолютной температуре на элементе до 125° С. У элементов серии Л в целях более надежного контакта селена с алюминием и снижения переходных сопротивлений в прямом направлении слой алюминия (основание) подвергается электрохимическому травлению.

Основной характеристикой селенового элемента является его вольт-амперная характеристика (рис. 8.10). Прямая ветвь ее характеризует номинальную токовую нагрузку селенового элемента. В зависимости от величины прямого падения напряжения при номинальном (классификационном) прямом токе селеновые элементы разделяются на четыре группы: IV группа имеет прямое падение напряжения меньше 0,45 В; III — от 0,45 до 0,55 В; II — от 0,55 до 0,65 В; I — от 0,65 до 0,75 В. В действительности вольт-амперные характеристики имеют значительный разброс как по прямому падению напряжения, так и по величине обратного напряжения. В связи с этим селеновые элементы имеют следующие группы: серия Г — I, II, III; серия А — II, III; серия Ф — II, III; серия Я — II, III, IV; серия У — III, IV. В зависимости от величины переменного обратного напряжения селеновые элементы разделяются на 6 классов (табл. 8.4).

Табл. 8.4. Классы селеновых элементов

Допустимая величина действующего значения переменного обратного напряжения, В	20	25	30	35	40	45
Условное обозначение класса элемента	В	Г	Д	Е	И	К

Серии селеновых элементов бывают следующих классов: серия А — классов В, Г, Д; серия Г — Д, Е, И, К; серия Я — В, Г, Д; серия У — В, Г, Д; серия Ф — Г.

Промышленностью выпускаются 22 размера селеновых элементов на токи нагрузки от 60 мкА до 24 А на один элемент.

В зависимости от формы различают следующие разновидности элементов: а) круглые без отверстия; б) круглые с отверстием; в) квадратные без отверстия; г) квадратные с отверстием; д) прямоугольные с несколькими отверстиями. Размеры выпускаемых селеновых элементов приведены в табл. 8.5.

Номинальные значения прямого тока селеновых элементов зависят от размеров элементов. Эти зависимости для различных серий элементов приведены в табл. 8.6.

Табл. 8.5. Размеры селеновых элементов

Размеры элементов (мм×мм)	Условное обозначение элементов (по разме- рам)	Размеры элементов (мм×мм)	Условное обозначение элементов (по разме- рам)
Ø3	3	22×22	22
Ø5	5	30×30	30
Ø7,2	7	40×40	40
Ø12,5	12	48×48	48
		60×60	60
12×12	12	75×75	75
15×15 б/о ¹	15 б/о	81×81	81
15×15	15	100×100	100
17×17	17	81×162	160
		100×200	120
Ø18	18	100×300	130
Ø25	25	100×400	140

Табл. 8.6. Значения прямого тока селеновых элементов, А

Размер элемента	Серия				
	А	Г	Я	У	Ф
Ø3	—	—	—	—	0,000060
Ø5	0,0012	—	—	—	0,0012
Ø7,2	0,006	—	—	—	0,006
Ø12,5	—	0,025	—	—	—
12×12	0,04	—	—	—	—
15×15 б/о	0,06	—	—	—	—
15×15 с/о	0,04	—	—	—	—
17×17	—	—	—	0,15	—
Ø18	—	0,04	—	—	—
22×22	0,075	—	0,15	0,3	—
Ø25	—	0,075	—	—	—
30×30	0,15	—	0,3	0,6	—
40×40	0,3	0,3	0,6	0,9	—
48×48	—	—	—	1,2	—
60×60	0,6	—	—	2,4	—
75×75	1,2	1,2	2,4	—	—
81×81	—	—	—	4	—
81×162	—	—	—	8	—
100×100	2	2	4	6	—
100×200	4	—	8	12	—
100×300	6	—	12	18	—
100×400	8	—	16	24	—

¹ Без отверстия.

Допустимые значения обратного тока для селеновых элементов различных классов в зависимости от размера элемента приведены в табл. 8.7.

Селеновые элементы обычно собираются в выпрямители всех типов схем, которые могут потребоваться промышленности.

В зависимости от электрической схемы соединения элементов выпрямители разделяются на виды, указанные в табл. 8.8.

Табл. 8.7. Значения обратного тока селеновых элементов, мА

Размер элемента	Класс элемента					
	В	Г	Д	Е	И	К
Ø3	—	—	—	—	—	—
Ø5	—	0,026	—	—	—	—
Ø7,2	—	0,11	0,11	0,09	0,09	0,08
Ø12,5	—	1,7	1,7	1,3	1,3	1,1
12×12	2,5	1,7	1,7	—	—	—
15×15 с/о	3,5	2,4	2,4	—	—	—
15×15 б/о	—	2,2	2,2	—	—	—
17×17	—	—	—	—	—	—
Ø18	—	—	—	—	—	—
22×22	5,5	3,6	3,6	—	—	—
Ø25	—	3,6	3,6	2,7	2,7	2,4
30×30	7	5	5	—	—	—
40×40	9	6	6	4,5	4,5	4
48×48	—	—	—	—	—	—
60×60	18	12	12	—	—	—
75×75	27	18	18	14	14	12
81×81	—	—	—	—	—	—
81×162	—	—	—	—	—	—
100×100	45	30	30	23	23	20
100×200	90	60	60	—	—	—
100×300	135	90	90	—	—	—
100×400	180	120	120	—	—	—

Табл. 8.8. Виды селеновых выпрямителей

Вид	Схема выпрямления	Условное обозначение
Единичный вентиль	Однофазная, однополупериодная	Е
Вентиль для включения в трехфазную схему	Однополупериодная	Ж
Двухплечный выпрямитель	Удвоения напряжения или однофазная, однополупериодная	Д
Выпрямитель со средней точкой	Однофазная, двухполупериодная со средней точкой	С
Однофазный мост	Однофазная мостовая	М
Разомкнутый однофазный мост	Однофазная мостовая	Х
Трехфазный мост	Трехфазная мостовая	Т

Селеновые выпрямители обладают рядом специфических свойств, которыми не обладают ни кремниевые, ни германиевые диоды. Благодаря этим свойствам селеновые приборы остаются

самыми распространенными полупроводниковыми приборами несмотря на бурное развитие кремниевых диодов. К таким свойствам в первую очередь относятся: стойкость к токовым перегрузкам и к перегрузкам по напряжению, высокая надежность.

Рабочий диапазон температур для селеновых выпрямителей серии А находится в пределах $-60...+75^{\circ}\text{C}$; серии Г — $-60...+80^{\circ}\text{C}$, серии Е — $-60...+125^{\circ}\text{C}$.

Устойчивость селеновых элементов к значительным перегрузкам по току и напряжению обеспечивает как последовательное, так и параллельное соединение их практически в неограниченном количестве. Это позволяет выпускать селеновые выпрямители практически на любые величины напряжений и токов. В настоящее время выпускаются селеновые выпрямители с последовательным соединением до 1440 селеновых элементов в единой конструкции (выпрямитель 15ГЕ1440У-С)¹. К такому диоду может быть подведено переменное напряжение в 40 кВ. Вместе с тем выпускаются выпрямители с параллельным соединением элементов, позволяющим получить выпрямленный ток в 500 А на один столб (выпрямитель 140ГЖ24Я4У).

В отличие от германиевых и кремниевых диодов селеновые выпрямители не нуждаются в выравнивающих элементах. В настоящее время собираются селеновые выпрямители на рабочее напряжение до 240 кВ.

По конструктивному исполнению селеновые выпрямители подразделяются на выпрямители открытой конструкции и сплошной сборки. Выпрямители открытой конструкции собираются из селеновых элементов на стяжной шпильке открыто и представляют собой обычно выпрямительный столб. В целях улучшения охлаждения выпрямителя между элементами оставляется зазор, регулируемый шайбами. Последние создают также электрический контакт между элементами.

Выпрямительные столбы различаются как по форме и размерам входящих в них селеновых элементов, так и по схемам выпрямления. На одной изолированной шпильке с помощью выводов и перемычек могут быть получены либо отдельные плечи выпрямителя, либо законченные выпрямительные схемы: однофазный и трехфазный мосты, схемы со средней точкой и другие. Элементы могут образовывать последовательное, параллельное либо смешанное соединение.

К группе выпрямителей открытой конструкции относятся следующие: а) нормализованные выпрямители серий А и Г; б) выпрямители серии Г для работы в масле; в) выпрямители серии Я; г) выпрямители для магнитных усилителей; д) выпрямители для сварочных аппаратов; е) ненормализованные выпрямители; ж) выпрямители серии У.

Большую группу образуют *выпрямители сплошной сборки*, когда селеновые элементы собраны плотно друг к другу. К этой груп-

¹ Расшифровку элементов обозначений см. на с. 126.

пе относятся: а) выпрямители типа «Контакт» для питания транзисторной аппаратуры; б) выпрямители селеновые типа 12ГД2А-Г; в) пакетные выпрямители АВС (плоские); г) слаботочные селеновые выпрямители из элементов серии А — АВС; д) слаботочные селеновые выпрямители из элементов серии Г — ТВС; е) слаботочные селеновые выпрямители из фольговых элементов серии Ф — ФВС; ж) выпрямители селеновые типа 5ГЕ40АФ; з) малогабаритный высоковольтный выпрямитель 3ГЕ200АФ; и) малогабаритный высоковольтный выпрямитель ВС-5 кВ; к) выпрямители для питания кинескопов телевизионных приемников; л) выпрямитель селеновый 9ГЕ560У-С; м) выпрямители для рентгенодиагностических аппаратов; н) выпрямитель типа АВСМ-7М.

Селеновые *выпрямители открытой конструкции* имеют обозначение полярности в виде цветных полос или точек: плюс — красный цвет; минус — синий цвет; переменный ток ($\sim$) — желтый цвет.

На *выпрямителях закрытой конструкции* обозначение полярности обычно наносится соответствующим знаком на корпусе. У *выпрямителей трубчатой конструкции* полярность обозначается посредством закраски торцов выпрямителя: синий цвет — со стороны анода, красный цвет — со стороны катода.

Схема построения обозначения селенового выпрямителя показана на рис. 8.11. Условное обозначение конструктивного исполнения выпрямителя приведено в табл. 8.9. В качестве примера расшифруем марку выпрямителя 40ДМ32Г: размер элементов выпрямителя 40×40 мм, число элементов — 32, выпрямитель предназначен для работы при температуре нагрева до $+80^\circ\text{C}$ и допускает переменное напряжение на элемент 30 В, элементы соединены по однофазной мостовой схеме. Этот же выпрямитель, изготовленный в неокрашенном виде и предназначенный для работы в трансформаторном масле, имеет обозначение: выпрямитель селеновый 40ДМ32Г-М.

9. ПАРАМЕТРЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ДИОДОВ, СТОЛБОВ И БЛОКОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

9.1. Диоды

Выпрямительные диоды предназначены для выпрямления переменного тока низкой частоты (обычно < 50 кГц). Различают выпрямительные диоды *малой мощности* (выпрямленный ток их не превышает 300 мА), *средней мощности* (от 400 мА до 10 А) и *большой мощности* (свыше 10 А). Основным материалом для изготовления выпрямительных диодов является кремний. В качестве выпрямительных используют плоскостные диоды, допускающие, благодаря большой площади контакта, большие значения выпрямленного тока.

Табл. 8.9. Условное обозначение конструктивного исполнения выпрямителей

Особенности конструктивного исполнения выпрямителей	Условные обозначения
Выпрямители нормализованной конструкции, собираемые на стяжной шпильке	не имеют
Выпрямители из элементов круглой формы, собираемые в трубчатом электроизоляционном корпусе	не имеют
Выпрямители в металлическом корпусе	А
Выпрямители, собранные в обоймах, без стяжного стержня (шпильки)	Б
Выпрямители пакетной конструкции (плоские)	Г
Выпрямители сплошной сборки на стяжном стержне	Д
Выпрямители квадратной формы, собранные в корпусе из электроизоляционного материала	И
Выпрямители, имеющие отклонение от нормализованной конструкции, собираемые на стяжной шпильке, окрашенные	К
Выпрямители нормализованной конструкции, собираемые на стяжной шпильке, неокрашенные, работающие в трансформаторном масле	М
Выпрямители, имеющие отклонения от нормализованной конструкции, собираемые на шпильке, неокрашенные, работающие в трансформаторном масле	Н
Выпрямители, допускающие номинальный выпрямленный ток при сокращенном сроке службы	П
Выпрямители, собранные на стяжном стержне, имеющие радиаторы для охлаждения	Р
Выпрямители специальной конструкции или специального назначения	С
Выпрямители в тропическом исполнении	Т
Выпрямители, собранные на стяжном стержне (шпильке) с уменьшенными промежутками между элементами, предназначенные для работы при искусственном обдуве воздухом	У
Выпрямители из элементов на тонкой основе (фольге)	Ф
Выпрямители, имеющие несколько одинаковых, изолированных друг от друга схем одной сборки	Ц

• Кремниевые плоскостные диоды получают сплавлением алюминия в кристалл кремния с электронной проводимостью или сплава олова с фосфором, либо золота с сурьмой в кристалл кремния с дырочной проводимостью. Помимо метода сплавления для производства кремниевых выпрямительных диодов применяется также метод диффузии.

Конструкция сплавного диода малой мощности показана на рис. 9.1,а.

К выпрямительным диодам малой мощности относятся диоды серий Д206-Д211, Д217-Д218, КД102-КД109, АД110А. Электрические параметры их приведены в табл. 9.1.

Конструкция диода средней мощности показана на рис. 9.1,б. Между пластинами кремния с разными видами проводимости помещают алюминиевую фольгу и нагревают. При этом алюминий сплавляется с кремнием, образуя $p-n$ -переход. Аналогичным образом устроены германиевые сплавные диоды, только в германиевую пластину сплавлен индий.

Табл. 9.1. Параметры диодов малой мощности

Тип диода	$I_{\text{пр, ср, макс.}}$ ($I_{\text{вп, ср, макс.}}$), А	$U_{\text{обр, и, макс.}}$ ($U_{\text{обр, макс.}}$), В	$U_{\text{пр, ср}}$ ($U_{\text{пр}}$), В	$I_{\text{обр, ср}}$ ($I_{\text{обр}}$), мА	Диапазон рабочих температур, °С
МД217	0,1	800	1	75	—60 ... +125
МД218	0,1	1000	1	75	—60 ... +125
МД218А	0,1	1200	1	50	—60 ... +125
Д226Б	0,3	400	1	100	—50 ... +80
Д226В	0,3	300	1	100	—60 ... +80
Д226Г	0,3	200	1	100	—60 ... +80
Д226Д	0,3	100	1	100	—60 ... +80
ГД107А	(0,02)	(15)	(1)	(20)	—60 ... +60
ГД107Б	(0,0025)	(20)	(0,4)	(100)	—60 ... +60
КД102А	(0,1)	(250)	(1)	(0,1)	—60 ... +100
КД102Б	(0,1)	(300)	(1)	(0,1)	—60 ... +100
КД103А	(0,1)	(50)	(1)	(1)	—60 ... +100
КД103Б	(0,1)	(50)	(1,2)	(1)	—60 ... +100
2Д103А	(0,1)	(75)	(1)	(1)	—60 ... +125
КД104А	(0,01)	(300)	(1)	(3)	—60 ... +70
КД105Б	0,3	400	1	100	—60 ... +85
КД105В	0,3	600	1	100	—60 ... +85
КД105Г	0,3	800	1	100	—60 ... +85
2Д106А	(0,3)	(100)	(1)	(10)	—60 ... +125
2Д108А	0,1	800	1,5	150	—60 ... +125
2Д108Б	0,1	1000	1,5	150	—60 ... +125
КД109А	0,3	100	1	100	—40 ... +85
КД109Б	0,3	300	1	100	—40 ... +85
КД109В	0,3	600	1	100	—40 ... +85
АД110А	(0,01)	(30)	(1,5)	(5·10—3)	—60 ... +85

Параметры сплавных диодов средней мощности приведены в табл. 9.2.

Промышленность выпускает кремниевые выпрямительные диоды типа КД202—КД209. Их изготавливают на основе *n*-кремния методом диффузии. Предельная рабочая частота их достигает 5 кГц.

Параметры кремниевых диодов средней мощности приведены в табл. 9.3, их характеристики показаны на рис. 9.2.

9.2. Столбы и блоки

Для увеличения амплитуды допустимого обратного напряжения диоды соединяют последовательно. Группы последовательно соединенных диодов, запрессованные в общем металлическом или пластмассовом корпусе, называются *выпрямительными столбами*. Они, как правило, имеют прямоугольную форму и заливаются эпоксидной или полимеризованной смолой. К германиевым выпрямитель-

Табл. 9.2. Параметры диодов средней мощности

Тип диода	$I_{пр, ср}$ макс, А	$U_{обр, и, макс.}$ В	$U_{пр, ср, В}$	$I_{обр, ср, мА}$	Диапазон ра- бочих темпе- ратур, °С
Д229А	0,4	200	1	0,05	—60 ... +85
Д229Б	0,4	400	1	0,05	—60 ... +85
Д229В	0,4	100	1	0,2	—60 ... +85
Д229Г	0,4	200	1	0,2	—60 ... +85
Д229Д	0,4	300	1	0,2	—60 ... +85
Д229Е	0,4	400	1	0,2	—60 ... +85
Д229Ж	0,7	100	1	0,2	—60 ... +85
Д229И	0,7	200	1	0,2	—60 ... +85
Д229К	0,7	300	1	0,2	—60 ... +86
Д229Л	0,7	400	1	0,2	—60 ... +85
Д242	10	100	1,2	3	—60 ... +125
(Д214)					
Д242А	10	100	1	3	—60 ... +125
(Д214А)					
Д242Б	5	100	1,5	3	—60 ... +125
(Д214Б)					
Д243	10	200	1,2	3	—60 ... +130
(Д215)					
Д243А	10	200	1	3	—60 ... +130
(Д215А)					
Д243Б	5	200	1,5	3	—60 ... +125
(Д215Б)					
Д244	10	50	1	3	—60 ... +125
(Д224А)					
Д244А	10	50	1	3	—60 ... +125
(Д224А)					
Д244Б	5	50	1	3	—60 ... +125
(Д224Б)					
Д245	10	300	1,2	3	—60 ... +125
(Д231)					
Д245А	10	300	1	3	—60 ... +125
(Д231А)					
Д245Б	5	300	1,5	3	—60 ... +125
(Д231Б)					
Д246	10	400	1,2	3	—60 ... +125
(Д232)					
Д246А	10	400	1	3	—60 ... +125
(Д232А)					
Д246Б	5	400	1,5	3	—60 ... +125
(Д232Б)					
Д247	10	500	1,2	3	—60 ... +125
(Д233)					
Д247Б	5	500	1,5	3	—60 ... +125
(Д233Б)					
Д248Б	— 5	600	1,5	3	—60 ... +125
(Д234Б)					

Примечание. В скобках приведены диоды, производство которых прекращено.

Табл. 9.3. Параметры кремниевых диодов средней мощности

Тип диода	$I_{пр, ср, макс},$ ($I_{вп, ср, макс}$) [$I_{пр, макс}$], А	$U_{обр, макс},$ ($U_{обр, н, макс}$), В	$U_{пр, ср}, В$	$I_{обр, ср}, мА$	Диапазон ра- бочих темпе- ратур, °С
1	2	3	4	5	6
2Д201А	5	(100)	1	3	—60...+130
2Д201Б	10	(100)	1	3	—60...+130
2Д201В	5	(200)	1	3	—60...+130
2Д201Г	10	(200)	1	3	—60...+130
КД202А	5	35	0,9	0,8	—60...+130
КД202Б	3,5	35	0,9	0,8	—60...+130
КД202В	5	70	0,9	0,8	—60...+130
КД202Г	3,5	70	0,9	0,8	—60...+130
КД202Д	5	140	0,9	0,8	—60...+130
КД202Е	3,5	140	0,9	0,8	—60...+130
КД202Ж	5	210	0,9	0,8	—60...+130
КД202И	3,5	210	0,9	0,8	—60...+130
КД202К	5	280	0,9	0,8	—60...+130
КД202Л	3,5	280	0,9	0,8	—60...+130
КД202М	3,5	350	0,9	0,8	—60...+130
КД202Н	3,5	350	0,9	0,8	—60...+130
КД202Р	5	420	0,9	0,8	—60...+130
КД202С	3,5	420	0,9	0,8	—60...+130
КД203А	10	420	1	1,5	—60...+100
КД203Б	10	530	1	1,5	—60...+100
КД203В	10	560	1	1,5	—60...+100
КД203Г	10	700	1	1,5	—60...+100
КД203Д	10	700	1	1,5	—60...+100
КД204А	[0,3]	400	1,4	0,15	—55...+85
КД204Б	[0,35]	200	1,4	0,1	—55...+85
КД204В	[0,6]	50	1,4	0,05	—55...+85
КД205А	0,5	500	1	0,1	—40...+85
КД205Б	0,5	400	1	0,1	—40...+85
КД205В	0,5	300	1	0,1	—40...+85
КД205Г	0,5	200	1	0,1	—40...+85
КД205Д	0,5	100	1	0,1	—40...+85
КД205Е	0,3	500	1	0,1	—40...+85
КД205Ж	0,5	600	1	0,1	—40...+85
КД205И	0,3	700	1	0,1	—40...+85
КД205К	0,7	100	1	0,1	—40...+85
КД205Л	0,7	200	1	0,1	—40...+85
КД206А	(10)	400	1,2	0,7	—60...+125
КД206Б	(10)	500	1,2	0,7	—60...+125
КД206В	(10)	600	1,2	0,7	—60...+125
КД208А	[1,5]	100	1	0,05	—40...+85
КД209А	[0,7]	400	1	0,1	—60...+85
КД209Б	[0,7]	600	1	0,1	—60...+85
КД209В	[0,5]	800	1	0,1	—60...+85
2Д210А	10	(800)	1	1,5	—60...+125
2Д210Б	10	(800)	1	1,5	—60...+125

1	2	3	4	5	6
2Д210В	10	(1000)	1	1,5	—60...+125
2Д210Г	10	(1000)	1	1,5	—60...+125
2Д212А	(1)	200	1	0,05	—60...+125
2Д213А	(10)	200	1	0,2	—60...+125
2Д213Б	(10)	200	1,2	0,2	—60...+125

ным столбам относятся столбы Д1001...Д1003А, к кремниевым — столбы Д1004...Д1011А.

Помимо выпрямительных столбов, выпускаются также и кремниевые *выпрямительные блоки* — группы диодов, соединенные в выпрямительные схемы (мостовые и др.).

Промышленность выпускает кремниевые выпрямительные блоки типов КЦ401А, КЦ401Б, КЦ402, КЦ403, КЦ404, КЦ405 и др., параллельное и последовательное включение которых запрещено.

Параметры германиевых и кремниевых выпрямительных столбов и диодных сборок приведены в табл. 9.4, блоков — в табл. 9.5.

Промышленность выпускает также *селеновые выпрямительные столбы и блоки*. Последние находят широкое применение в следующих устройствах и аппаратуре: зарядки аккумуляторных батарей; выпрямителях для гальванических ванн; приводе электродвигателей металлорежущих станков, сварочной аппаратуре; выпрямителях рентгеновской аппаратуры; источниках питания фильтров газовой очистки; схемах умножения напряжения в источниках высокого напряжения; схемах питания анода телевизионных приемников и электронно-лучевых трубок осциллографов; схемах смещения базового напряжения различного рода усилителей; схемах магнитных усилителей; источниках питания транзисторных приемников; источниках питания вычислительных машин на транзисторах; в цепях дискриминаторов измерительной и вычислительной техники; в качестве ограничителей перенапряжений; в качестве приборов защиты контактов реле от образования дуги; в качестве приборов для выравнивания напряжений на последовательно соединенных кремниевых силовых вентилях и тиристорах; в качестве приборов для подавления акустических ударов телефонных аппаратов и другой аппаратуры; в качестве приборов с нелинейной (симметричной и несимметричной) вольт-амперной характеристикой.

Параметры выпрямительных столбов и блоков сплошной сборки приведены в табл. 9.6, селеновых столбов серии Ф (ФВС) — в табл. 9.7, малогабаритных селеновых выпрямителей для печатного монтажа — в табл. 9.8, теплостойких выпрямителей серии Е — в табл. 9.9, селеновых выпрямителей открытой конструкции серий Я, Г, У — в табл. 9.10...9.19.

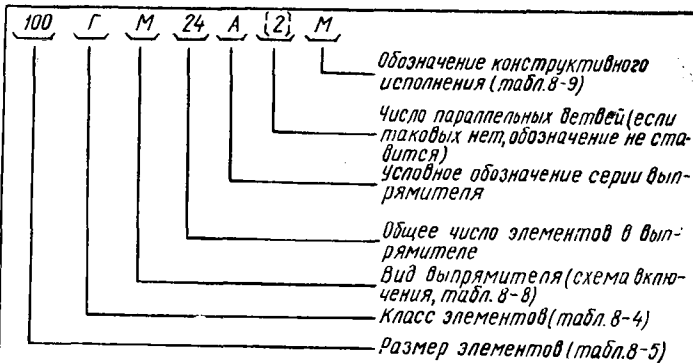


Рис. 8.11. Схема построения обозначения селенового выпрямителя

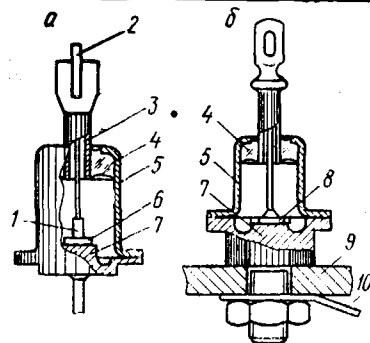


Рис. 9.1. Конструкция кремниевых сплавных выпрямительных диодов:

а — малой мощности; б — средней мощности; 1 — алюминиевый столбик; 2 — вывод; 3 — металлическая трубка (ковар); 4 — стеклянный изолятор; 5 — корпус; 6 — пластина кремния л-типа; 7 — кристаллодержатель; 8 — р-п-переход; 9 — шасси; 10 — выводной лепесток

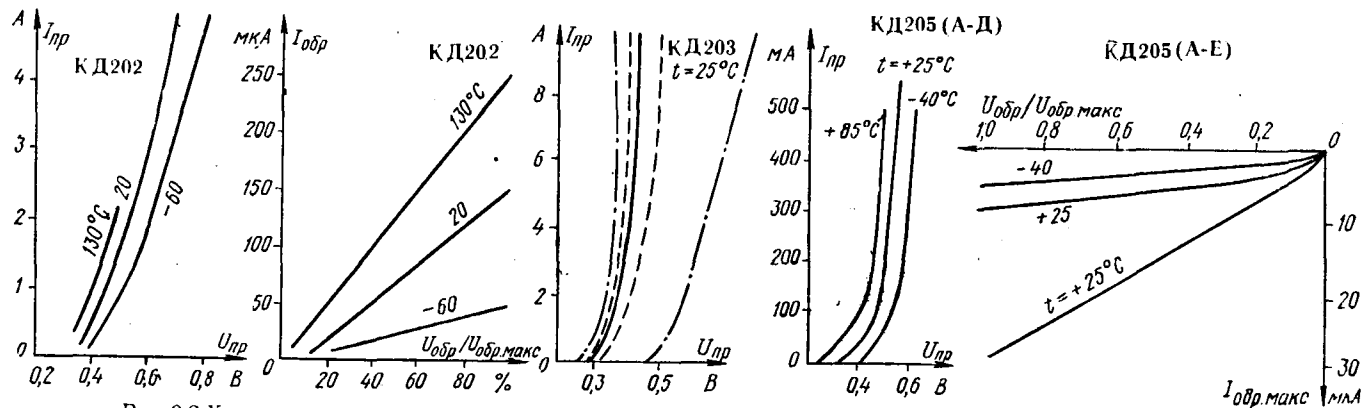


Рис. 9.2 Характеристики выпрямительных диффузионных диодов средней мощности (пунктир — границы разброса у 90% приборов, штрих-пунктир — у 100% приборов)

Табл. 9.4. Параметры германиевых и кремниевых выпрямительных столбов и диодных сборок

Тип прибора	$I_{вп, ср. макс}$ ($I_{пр. ср. макс}$), А	$U_{обр, макс}$ ($U_{обр.п. макс}$), В	$U_{пр}$ ($U_{пр. ср}$), В	$I_{обр}$ ($I_{обр. ср}$), мкА	Диапазон ра- бочих темпе- ратур, °С
Д1004	(0,1)	2000	(5)	(100)	-60...+125
Д1005А	(0,05)	4000	(5)	(100)	-60...+125
Д1005В	(0,1)	4000	(10)	(100)	-60...+125
Д1006	(0,1)	6000	(11)	(100)	-60...+125
Д1006А	(0,5)	6000	(11)	(100)	-60...+125
Д1007	(0,075)	8000	(10)	(100)	-60...+125
Д1007А	(0,5)	(8000)	(11)	(100)	-60...+125
Д1008	(0,05)	10000	(10)	(100)	-60...+125
Д1008А	(0,5)	(10000)	(11)	(100)	-40...+100
Д1009	(0,3)	(2000)	(2,6)	(100)	-40...+85
Д1009А	(0,3)	(1000)	(1,5)	(100)	-40...+85
Д1010	(0,3)	(2000)	(2,6)	(100)	-40...+85
Д1010А	(0,3)	(1000)	(1,5)	(100)	-40...+85
Д1011	(0,5)	(500)	(1,5)	(100)	-40...+85
Д1011А	(0,3)	(500)	(1,5)	(100)	-40...+85
2Ц101А	0,01	700	8,3	10	-60...+70
2Ц102А	(0,1)	800	(1,5)	(50)	-60...+125
2Ц102Б	(0,1)	1000	(1,5)	(50)	-60...+125
2Ц102В	(0,1)	1200	(1,5)	(50)	-60...+125
2Ц103А	(0,01)	2000	10	10	-60...+75
КЦ105А	(0,1)	(2000)	(3,5)	(100)	-40...+85
КЦ105Б	(0,1)	(4000)	(3,5)	(100)	-40...+85
КЦ105В	(0,1)	(6000)	(7)	(100)	-40...+85
КЦ105Г	(0,075)	(7000)	(7)	(100)	-40...+85
КЦ105Д	(0,05)	(8500)	(7)	(100)	-40...+85
КЦ106А	0,01	4000	25	10	-55...+85
КЦ106Б	0,01	6000	25	10	-50...+85
КЦ106В	0,01	8000	25	10	-55...+85
КЦ106Г	0,01	10000	25	10	-55...+85
КЦ106Д	0,01	2000	25	10	-55...+85
КЦ201А	(0,5)	(2000)	(3)	(100)	-60...+100
КЦ201Б	(0,5)	(4000)	(3)	(100)	-60...+100
КЦ201В	(0,5)	(6000)	(6)	(100)	-60...+100
КЦ201Г	(0,5)	(8000)	(6)	(100)	-60...+100
КЦ201Д	(0,5)	(10000)	(6)	(100)	-60...+100
КЦ201Е	(0,5)	(15000)	(10)	(100)	-60...+100
2Ц202А	(0,5)	(2000)	(3)	(100)	-60...+125
2Ц202Б	(0,5)	(4000)	(3)	(100)	-60...+125
2Ц202В	(0,5)	(6000)	(6)	(100)	-60...+125
2Ц202Г	(0,5)	(8000)	(6)	(100)	-60...+125
2Ц202Д	(0,5)	(10000)	(6)	(100)	-60...+125
2Ц202Е	(0,5)	(15000)	(10)	(100)	-60...+125
КДС111А	0,2	300	1,2	3	-60...+85
КДС111Б	0,2	300	1,2	3	-60...+85
КДС111В	0,2	300	1,2	3	-60...+85

Табл. 9.5. Параметры выпрямительных блоков средней мощности
 $t = -40 \dots +85^\circ\text{C}$, $f_{\text{макс}}^{(1)} = 5 \dots 15$ кГц, $I_{\text{хх}} = 125$ мкА, $U_{\text{к.з}}^{(2)} = 4$ В

Тип блока	Схема соединения	$I_{\text{вп, ср, макс}}^{(1)}$ ($I_{\text{пр, ср, макс}}^{(1)}$), А	$U_{\text{обр, н, макс}}$, В	$I_{\text{обр, ср, макс}}$, мкА
КЦ401А	Удвоитель напряжения	(0,4) ³ (0,3) ⁴	500 ³ 500 ⁴	300
КЦ401Б	Мост	(0,25)	500	100
КЦ401В	Удвоитель напряжения	(0,2) (0,2)	500 500	100
КЦ401В	Мост	(0,25)	400	100
КЦ401Г	Удвоитель напряжения	(0,2) (0,2)	400 400	100
КЦ401Г	Мост	(0,5)	500	300
КЦ401Д	Удвоитель напряжения	(0,5) (0,5)	500 500	300
КЦ401Д	Мост	(0,4)	500	300
КЦ401Д	Удвоитель напряжения	(0,4) (0,4)	500 500	300
КЦ402А	Однофазный мост	1	600	—
КЦ402Б		1	500	—
КЦ402В		1	400	—
КЦ402Г		1	300	—
КЦ402Д		1	200	—
КЦ402Е		1	100	—
КЦ402Ж		0,6	600	—
КЦ402И		0,6	500	—
КЦ403А	Два однофазных моста для навесного монтажа	1	600	—
КЦ403Б		1	500	—
КЦ403В		1	400	—
КЦ403Г		1	300	—
КЦ403Д		1	200	—
КЦ403Е		1	100	—
КЦ403Ж		0,6	600	—
КЦ403И		0,6	500	—
КЦ404А	Два однофазных моста для навесного монтажа с держателями предохра- нителей типа ПМ	1	600	—
КЦ404Б		1	500	—
КЦ404В		1	400	—
КЦ404Г		1	300	—
КЦ404Д		1	200	—
КЦ404Е		1	100	—
КЦ404Ж		0,6	600	—
КЦ404И		0,6	500	—
КЦ405А	Однофазный мост для монтажа на печатную плату	1	600	—
КЦ405Б		1	500	—
КЦ405В		1	400	—
КЦ405Г		1	300	—
КЦ405Д		1	200	—
КЦ405Е		1	100	—
КЦ405Ж		0,6	600	—
КЦ405И		0,6	500	—
КЦ407А	Мост	0,5	300	—
КЦ407А	Включение выводами 1(6) и 3(4) (выводы 2 и 5 изолированы)	0,3	500	—

¹) $f_{\text{макс}}$ для блоков типа КЦ401—1 кГц, для КЦ407А — 20 кГц; ²) $U_{\text{к.з}}$ для бло-
ков типа КЦ407А—2,5 В; ³) для первого плеча; ⁴) для второго плеча.

Табл. 9.6. Параметры селеновых малогабаритных выпрямительных столбов и блоков сплошной сборки

Наименование столба или блока	Подводимое напряжение $U_{\text{подв. кВ}}$	Выпрямленное напряжение $U_{\text{выпр. кВ}}$	Выпрямленный ток $I_{\text{выпр. мкА (мА)}}$	Падение прямого напряжения, (при токе мкА) $U_{\text{пр. кВ}}$	Примечание
1	2	3	4	5	6
5ГЕ140АФ-С	4,4	4	250	0,2 (3)	Для работы в схемах умножения напряжения
5ГЕ200АФ-С	6,3	6	250	0,28 (3)	
7ГЕ350АФ-С	8,4	8	400	0,31 (3)	
5ГЕ600АФ-М1	15,8	15	150	0,8 (3)	Для работы в схеме единичного вентиля
ВС-5 кВ	5	—	200	0,12 (0,06)	Для работы в схемах умножения с малой токовой нагрузкой (единичный вентиль)
3ГЕ220АФ	5	—	60	0,120 (0,06)	Для работы в схемах умножения (единичный вентиль)
15ГЕ1440У-С	40	—	(750)	4	Собран в электроизоляционном корпусе из 1440 селеновых элементов, работает в трансформаторном масле при температуре не более 60°C
	36	—	(150)	2	
9ГЕ560У-С	17		(80)	1,7	Содержит 560 селеновых элементов, предназначен для работы в трансформаторном масле
	14		(2,5)	0,3	
БП-7,5/20-0,22	7,5	20	220		Выполнен по схеме умножения напряжения до 20 кВ. Частота подводимого импульсного напряжения не превышает 18 кГц.
Блок высоковольтный на базе выпрямителей типа 7ГЕ280АФ					
7ГЕ200АФ					
Ограничитель селеновый телевизионный ОСТ-9	4,5В		(0,4)		
	9В		(6)		
	13,5В		(200)		

1	2	3	4	5	6
Блок высоковольтный БП-1,5/6,0-0,05	1,5	$6 \pm 0,5$	50		Работает по схеме умножения напряжения до 6 кВ, $f < 1,2$ кГц
БП-8,5/25-0,0012	8,5	25	12		На базе селеновых высоковольтных выпрямителей типа 7ДЕ300УФ, 7ДЕ170УФ по схеме утроения напряжения, $f < 18$ кГц, $t_{имп} = 9 \dots 20$ мкс
БП-3/50-0,1	3	50	100		Работает по схеме умножения напряжения, $f < 17$ кГц
Высоковольтные блоки 3ГЕ...АФ 5ГЕ...АФ 7ГЕ...АФ 9ГЕ...АФ	10...100 10...100 10...100 10...100	4...40	(0,4) (1,2) (6,0) (10,0)		Блок состоит из кассет, соединенных с помощью стяжной шпильки. Каждая кассета рассчитана на напряжение 10 кВ
5ГЕ40АФ	1,0	0,39	2000		В схеме единичного вентиля

Табл. 9.7. Параметры селеновых выпрямительных столбов малой мощности серии «Ф» (ФВС)

Тип селенового выпрямителя	$U_{\text{подв.}}$ В	$U_{\text{выпр.}}$ В	$I_{\text{выпр.}}$ мА
5ГЕ2Ф	50	15	1,2
5ГЕ4Ф	100	30	1,2
5ГЕ8Ф	200	70	1,2
5ГЕ12Ф	300	100	1,2
5ГЕ16Ф	400	145	1,2
5ГЕ20Ф	500	180	1,2
5ГЕ24Ф	600	220	1,2
5ГЕ32Ф	800	300	1,2
5ГЕ40Ф	1000	390	1,2
5ГЕ60Ф	1500	540	1,2
5ГЕ80Ф	2000	780	1,2
5ГЕ100Ф	2500	930	1,2
5ГЕ140Ф	3500	1320	1,2
5ГЕ200Ф	5000	1860	1,2
7ГЕ2Ф	50	15	6
7ГЕ4Ф	100	30	6
7ГЕ8Ф	200	70	6
7ГЕ12Ф	300	100	6
7ГЕ16Ф	400	145	6
7ГЕ20Ф	500	160	6
7ГЕ24Ф	600	220	6
7ГЕ32Ф	800	300	6
7ГЕ40Ф	1000	390	6
7ГЕ60АФ	1500	540	6
3ГЕ2АФ	50	15	0,4
3ГЕ4АФ	100	30	0,4
3ГЕ8АФ	200	70	0,4
3ГЕ12АФ	300	100	0,4
3ГЕ16АФ	400	145	0,4
3ГЕ20АФ	500	180	0,4
3ГЕ24АФ	600	220	0,4
3ГЕ32АФ	800	300	0,4
3ГЕ40АФ	1000	390	0,4
3ГЕ60АФ	1500	540	0,4
3ГЕ80АФ	2000	780	0,4
3ГЕ100АФ	2500	930	0,4
3ГЕ130АФ	3250	1240	0,4
3ГЕ200АФ	5000	1860	0,4

Табл. 9.8. Параметры малогабаритных селеновых выпрямителей для печатного монтажа ¹

Тип селенового выпрямителя	$U_{\text{подв.}}$ В	$U_{\text{выпр.}}$ В	$I_{\text{выпр.}}$ мА	Тип селенового выпрямителя	$U_{\text{подв.}}$ В	$U_{\text{выпр.}}$ В	$I_{\text{выпр.}}$ мА
1	2	3	4	5	6	7	8
5ГС2А-ПМ	25	9	2,5	5ГС12Ф-ПМ	150	54	2,5
5ГС4А-ПМ	50	18	2,5	5ГС16Ф-ПМ	250	72	2,5
5ГС6А-ПМ	75	27	2,5	5ГС20Ф-ПМ	300	90	2,5
5ГС8Ф-ПМ	100	36	2,5	5ГС24Ф-ПМ	350	108	2,5
5ГС10Ф-ПМ	125	45	2,5				

1	2	3	4	5	6	7	8
5ГМ4А-ПМ	50	18	2,5	7ГС16У-ПМ	200	72	10
5ГМ8Ф-ПМ	50	37	2,5	7ГС20У-ПМ	250	90	10
5ГМ12Ф-ПМ	75	55	2,5	7ГС24У-ПМ	300	108	10
5ГМ16Ф-ПМ	100	74	2,5				
5ГМ20Ф-ПМ	125	92	2,5	9ГМ4У-ПМ	25	18	50
5ГМ24Ф-ПМ	150	110	2,5	9ГМ8У-ПМ	50	37	50
5ГМ32Ф-ПМ	200	150	2,5	9ГМ12У-ПМ	75	55	50
				9ГМ16У-ПМ	100	74	50
7ГМ4А-ПМ	25	18	10	9ГМ20У-ПМ	125	92	50
7ГМ8У-ПМ	50	37	10	9ГМ24У-ПМ	150	110	50
7ГМ12У-ПМ	75	55	10	9ГМ32У-ПМ	200	150	45
7ГМ16У-ПМ	100	74	10				
7ГМ20У-ПМ	125	92	10	9ГС2У-ПМ	25	9	50
7ГМ24У-ПМ	150	110	10	9ГС4У-ПМ	50	18	50
7ГМ32У-ПМ	200	150	10	9ГС6У-ПМ	75	27	50
				9ГС8У-ПМ	100	36	50
7ГС2А-ПМ	25	9	10	9ГС10У-ПМ	125	45	50
7ГС4А-ПМ	50	18	10	9ГС12У-ПМ	150	54	50
7ГС6А-ПМ	75	27	10	9ГС16У-ПМ	200	72	50
7ГС8У-ПМ	100	36	10	9ГС20У-ПМ	250	90	50
7ГС10У-ПМ	125	45	10	9ГС24У-ПМ	300	108	50
7ГС12У-ПМ	150	54	10				

¹ Схемы соединения — однофазный мост и со средней точкой; диапазон рабочих температур — -60...+70°С; срок службы — 10 тыс. ч.

Табл. 9.9. Параметры теплостойких выпрямителей серии Е

Тип выпрямителя	$U_{\text{подв}}$, В	$U_{\text{выпр}}$, В	$I_{\text{выпр}}$, А	Расположение выводов	Вид выпрямителя
40ГД2Е	50	19,5	0,3	В	Д
40ГД4Е	100	39	0,3	Б	
40ГД6Е	200	59	0,3	А	
40ГД8Е	250	78	0,3	А	
40ГД10Е	300	98	0,3	А	
40ГД12Е	350	117	0,3	А	
40ГД16Е	400	156	0,3	А	
40ГД20Е	500	195	0,3	А	
40ГМ4Е	25	19	0,6	В	М
40ГМ8Е	50	38	0,6	В	
40ГМ12Е	75	57	0,6	Б	
40ГМ16Е	100	76	0,6	Б	
40ГМ20Е	125	95	0,6	Б	

Табл. 9.10. Параметры селеновых выпрямителей серии Я класса В

1. Размеры элементов: 22×22 мм; 30×30 мм; 40×40 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. Б}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
22ВД2Я	0,15	30ВД2Я	0,3	40ВД2Я	0,6	40	14	В
22ВД4Я	0,15	30ВД4Я	0,3	40ВД4Я	0,6	80	29	Б
22ВД6Я	0,15	30ВД6Я	0,3	40ВД6Я	0,6	120	43	А
22ВД8Я	0,15	30ВД8Я	0,3	40ВД8Я	0,6	160	58	А
22ВД10Я	0,15	30ВД10Я	0,3	40ВД10Я	0,6	200	72	А
22ВД12Я	0,15	30ВД12Я	0,3	40ВД12Я	0,6	240	87	А
22ВД16Я	0,15	30ВД16Я	0,3	40ВД16Я	0,6	320	115	А
22ВД20Я	0,15	30ВД20Я	0,3	40ВД20Я	0,6	400	145	А
22ВД24Я	0,15	30ВД24Я	0,3	40ВД24Я	0,6	480	175	А
22ВД28Я	0,15	30ВД28Я	0,3	40ВД28Я	0,6	560	205	А
22ВД32Я	0,15	30ВД32Я	0,3	40ВД32Я	0,6	640	230	А
22ВС2Я	0,3	30ВС2Я	0,6	40ВС2Я	1,2	20	7	В
22ВМ4Я	0,3	30ВМ4Я	0,6	40ВМ4Я	1,2	20	14	В
22ВМ8Я	0,3	30ВМ8Я	0,6	40ВМ8Я	1,2	40	29	В
22ВМ12Я	0,3	30ВМ12Я	0,6	40ВМ12Я	1,2	60	43	Б
22ВМ16Я	0,3	30ВМ16Я	0,6	40ВМ16Я	1,2	80	58	Б
22ВМ20Я	0,3	30ВМ20Я	0,6	40ВМ20Я	1,2	100	72	Б
22ВМ24Я	0,3	30ВМ24Я	0,6	40ВМ24Я	1,2	120	87	Б
22ВМ32Я	0,3	30ВМ32Я	0,6	40ВМ32Я	1,2	160	115	Б
—	—	30ВЕ2Я	0,3	40ВЕ2Я	0,6	40	14	А
—	—	30ВЕ4Я	0,3	40ВЕ4Я	0,6	80	29	А
—	—	30ВЕ6Я	0,3	40ВЕ6Я	0,6	120	43	А
—	—	30ВЕ8Я	0,3	40ВЕ8Я	0,6	160	58	А
—	—	30ВЕ10Я	0,3	40ВЕ10Я	0,6	200	72	А
—	—	30ВЕ12Я	0,3	40ВЕ12Я	0,6	240	87	А
—	—	30ВЕ16Я	0,3	40ВЕ16Я	0,6	320	115	А
—	—	30ВЕ20Я	0,3	40ВЕ20Я	0,6	400	145	А
—	—	30ВЕ24Я	0,3	40ВЕ24Я	0,6	480	175	А
—	—	30ВЕ28Я	0,3	40ВЕ28Я	0,6	560	205	А
—	—	30ВЕ32Я	0,3	40ВЕ32Я	0,6	640	230	А

2. Размеры элементов: 75×75 мм; 100×100 мм; 100×200 мм

75ВД2Я	2	100ВД2Я	4	120ВД2Я	6,5	40	14	В
75ВД4Я	2	100ВД4Я	4	120ВД4Я	6,5	80	29	Б
75ВД6Я	2	100ВД6Я	4	120ВД6Я	6,5	120	43	А
75ВД8Я	2	100ВД8Я	4	120ВД8Я	6,5	160	58	А
75ВД12Я	2	100ВД12Я	4	120ВД12Я	6,5	240	87	А
75ВД16Я	2	100ВД16Я	4	120ВД16Я	6,5	320	115	А
75ВД20Я	2	100ВД20Я	4	120ВД20Я	6,5	400	145	А
75ВД24Я	2	100ВД24Я	4	120ВД24Я	6,5	480	175	А
75ВМ4Я	4	100ВМ4Я	8	120ВМ4Я	13	20	14	В
75ВМ8Я	4	100ВМ8Я	8	120ВМ8Я	13	40	29	В
75ВМ12Я	4	100ВМ12Я	8	120ВМ12Я	13	60	43	Б
75ВМ16Я	4	100ВМ16Я	8	120ВМ16Я	13	80	58	Б
75ВМ20Я	4	100ВМ20Я	8	120ВМ20Я	13	100	72	Б
75ВМ24Я	4	100ВМ24Я	8	120ВМ24Я	13	120	87	Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9
75ВМ8Я2	8	—	—	120ВМ8Я2	26	20	14	В
75ВМ16Я2	8	—	—	120ВМ16Я2	26	40	29	В
75ВМ24Я2	8	—	—	120ВМ24Я2	26	60	43	В
75ВТ6Я	6	100ВТ6Я	12	120ВТ6Я	19,5	18	17,5	В
75ВТ12Я	6	100ВТ12Я	12	120ВТ12Я	19,5	37	35	В
75ВТ18Я	6	100ВТ18Я	12	120ВТ18Я	19,5	55	52	В
75ВТ24Я	6	100ВТ24Я	12	120ВТ24Я	19,5	74	70	В

3. Размеры элементов: 100×300 мм; 100×400 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположе ние выво- дов
130ВД2Я	10	140ВД2Я	12	40	14	В
130ВД4Я	10	140ВД4Я	12	80	29	Б
130ВД6Я	10	140ВД6Я	12	120	43	А
130ВД8Я	10	140ВД8Я	12	160	58	А
130ВД12Я	10	140ВД12Я	12	240	87	А
130ВД16Я	10	140ВД16Я	12	320	115	А
130ВД20Я	10	140ВД20Я	12	400	145	А
130ВД24Я	10	140ВД24Я	12	480	175	А
130ВД10Я5	45	140ВД10Я5	54	40	14	В
130ВД20Я5	45	140ВД20Я5	54	80	29	В
130ВМ4Я	20	140ВМ5Я	24	20	14	В
130ВМ8Я	20	140ВМ8Я	24	40	29	В
130ВМ12Я	20	140ВМ12Я	24	60	43	Б
130ВМ16Я	20	140ВМ16Я	24	80	58	Б
130ВМ20Я	20	140ВМ20Я	24	100	72	Б
130ВМ24Я	20	140ВМ24Я	24	120	87	Б
130ВМ8Я2	40	140ВМ8Я2	48	20	14	В
130ВМ16Я2	40	140ВМ16Я2	48	40	29	В
130ВМ24Я2	40	140ВМ24Я2	48	60	43	В
130ВМ12Я3	54	140ВМ12Я3	65	20	14	В
130ВМ24Я3	54	140ВМ24Я3	65	40	29	В
130ВМ20Я5	90	140ВМ20Я5	105	20	14	В
130ВМ24Я6	105	140ВМ24Я6	130	20	14	В
130ВТ6Я	30	140ВТ6Я	36	18	17,5	В
130ВТ12Я	30	140ВТ12Я	36	37	35	В
130ВТ18Я	30	140ВТ18Я	36	55	52	В
130ВТ24Я	30	140ВТ24Я	36	74	70	В
130ВТ18Я3	80	140ВТ18Я3	98	18	17,5	В

Табл. 9.11. Параметры селеновых выпрямителей серии Я класса Г

1. Размеры элементов: 100×300 мм; 100×400 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр, А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр, А}}$	$U_{\text{подз, В}}$	$U_{\text{выпр, В}}$	Располо- жение вы- водов
1	2	3	4	5	6	7
130ГД2Я	10	140ГД2Я	12	50	19	В
130ГД4Я	10	140ГД4Я	12	100	38	Б
130ГД6Я	10	140ГД6Я	12	150	57	А
130ГД8Я	10	140ГД8Я	12	200	76	А
130ГД12Я	10	140ГД12Я	12	300	115	А
130ГД16Я	10	140ГД16Я	12	400	150	А
130ГД20Я	10	140ГД20Я	12	500	190	А
130ГД24Я	10	140ГД24Я	12	600	230	А
130ГД10Я5	45	140ГД10Я5	54	50	19	В
130ГД20Я5	45	140ГД20Я5	54	100	38	В
130ГМ4Я	20	140ГМ4Я	24	25	18	В
130ГМ8Я	20	140ГМ8Я	24	50	37	В
130ГМ12Я	20	140ГМ12Я	24	75	55	Б
130ГМ16Я	20	140ГМ16Я	24	100	74	Б
120ГМ20Я	20	140ГМ20Я	24	125	92	Б
130ГМ24Я	20	140ГМ24Я	24	150	110	Б
130ГМ8Я2	40	140ГМ8Я2	48	25	18	В
130ГМ16Я2	40	140ГМ16Я2	48	50	37	В
130ГМ24Я2	40	140ГМ24Я2	48	75	55	В
130ГМ12Я3	54	140ГМ12Я3	65	25	18	В
130ГМ24Я3	54	140ГМ24Я3	65	50	37	В
130ГМ20Я5	90	140ГМ20Я5	105	25	18	В
130ГМ24Я6	105	140ГМ24Я6	130	25	18	В
130ГТ6Я	30	140ГТ6Я	36	24	22	В
130ГТ12Я	30	140ГТ12Я	36	18	11	В
130ГТ18Я	30	140ГТ18Я	36	72	66	В
130ГТ24Я	30	140ГТ24Я	36	96	88	В
130ГТ18Я3	80	140ГТ18Я3	98	24	22	В

2. Размеры элементов: 22×22 мм; 30×30 мм

22ГД2Я	0,15	30ГД2Я	0,3	50	19	В
22ГД4Я	0,15	30ГД4Я	0,3	100	38	Б
22ГД6Я	0,15	30ГД6Я	0,3	150	57	А
22ГД8Я	0,15	30ГД8Я	0,3	200	76	А
22ГД10Я	0,15	30ГД10Я	0,3	250	95	А
22ГД12Я	0,15	30ГД12Я	0,3	300	115	А
22ГД16Я	0,15	30ГД16Я	0,3	400	150	А
22ГД20Я	0,15	30ГД20Я	0,3	500	190	А
22ГД24Я	0,15	30ГД24Я	0,3	600	230	А
22ГД28Я	0,15	30ГД28Я	0,3	700	265	А
22ГД32Я	0,15	30ГД22Я	0,3	800	305	А
22ГС2Я	0,3	30ГС2Я	0,6	25	9	В

1	2	3	4	5	6	7
22ГМ4Я	0,3	30ГМ4Я	0,6	25	18	В
22ГМ8Я	0,3	30ГМ8Я	0,6	50	37	В
22ГМ12Я	0,3	30ГМ12Я	0,6	75	55	Б
22ГМ16Я	0,3	30ГМ16Я	0,6	100	74	Б
22ГМ20Я	0,3	30ГМ20Я	0,6	125	92	Б
22ГМ24Я	0,3	30ГМ24Я	0,6	150	110	Б
22ГМ34Я	0,3	30ГМ32Я	0,6	200	150	Б
—	—	30ГЕ2Я	0,3	50	19	А
—	—	30ГЕ4Я	0,3	100	38	А
—	—	30ГЕ6Я	0,3	150	57	А
—	—	30ГЕ8Я	0,3	200	76	А
—	—	30ГЕ10Я	0,3	250	95	А
—	—	30ГЕ12Я	0,3	300	115	А
—	—	30ГЕ16Я	0,3	400	150	А
22ГЕ16Я-К	0,15	30ГЕ20Я	0,3	500	190	А
—	—	30ГЕ24Я	0,3	600	230	А
—	—	30ГЕ28Я	0,3	700	265	А
—	—	30ГЕ32Я	0,3	800	305	А
—	—	30ГЕ13Я-К	0,3	325	125	С
—	—	30ГЕ20Я-К	0,3	500	190	С
—	—	30ГЕ26Я-Н	0,3	650	245	С
—	—	30ГЕ28Я-К	0,3	700	265	С
22ГЕ70Я-Н	0,15	30ГЕ70Я-Н	0,3	1750	665	С
—	—	30ГЖ6Я	0,3	50	19	Б

3. Размеры элементов: 75×75 мм; 100×200 мм

75ГД2Я	2	120ГД2Я	6,5	50	19	В
75ГД4Я	2	120ГД4Я	6,5	100	38	Б
75ГД6Я	2	120ГД6Я	6,5	150	57	А
75ГД8Я	2	120ГД8Я	6,5	200	76	А
75ГД12Я	2	120ГД12Я	6,5	300	115	А
75ГД16Я	2	120ГД16Я	6,5	400	150	А
75ГД20Я	2	120ГД20Я	6,5	500	190	А
75ГД24Я	2	120ГД24Я	6,5	600	230	А
75ГД10Я5	9	120ГД10Я5	30	50	19	А
75ГД20Я5	9	120ГД20Я5	30	100	38	А
75ГМ4Я	4	120ГМ4Я	13	25	18	В
75ГМ8Я	4	120ГМ8Я	13	50	37	В
75ГМ12Я	4	120ГМ12Я	13	75	55	Б
75ГМ16Я	4	120ГМ16Я	13	100	74	Б
75ГМ20Я	4	120ГМ20Я	13	125	92	Б
75ГМ24Я	4	120ГМ24Я	13	150	110	Б
75ГМ8Я2	8	120ГМ8Я2	26	25	18	В
75ГМ16Я2	8	120ГМ16Я2	26	50	37	В
75ГМ24Я2	8	120ГМ24Я2	26	75	55	В
75ГМ24Я3	11	—	—	50	37	В

1	2	3	4	5	6	7
75Г М16Я4	18	—	—	25	18	В
75Г М20Я5	18	120Г М20Я5	58	25	18	В
75Г М24Я6	18	120Г М24Я6	70	25	18	В
75ГТ6Я	6	120ГТ6Я	19,5	24	22	В
75ГТ12Я	6	120ГТ12Я	19,5	48	44	В
75ГТ18Я	6	120ГТ18Я	19,5	72	66	В
75ГТ24Я	6	120ГТ24Я	19,5	96	88	В

4. Размеры элементов: 40×40 мм; 100×100 мм

40ГД2Я	0,6	100ГД2Я	4,0	50	19	В
40ГД4Я	0,6	100ГД4Я	4,0	100	38	Б
40ГД6Я	0,6	100ГД6Я	4,0	150	57	А
40ГД8Я	0,6	100ГД8Я	4,0	200	76	А
40ГД12Я	0,6	100ГД12Я	4,0	300	115	А
40ГД16Я	0,6	100ГД16Я	4,0	400	150	А
40ГД20Я	0,6	100ГД20Я	4,0	500	190	А
40ГД24Я	0,6	100ГД24Я	4,0	600	230	А
40ГМ4Я	1,2	100ГМ4Я	8	25	18	В
40ГМ8Я	1,2	100ГМ8Я	8	50	37	В
40ГМ12Я	1,2	100ГМ12Я	8	75	55	Б
40ГМ16Я	1,2	100ГМ16Я	8	100	74	Б
40ГМ20Я	1,2	100ГМ20Я	8	125	92	Б
40ГМ24Я	1,2	100ГМ24Я	8	150	110	Б
40ГТ6Я	1,8	100ГТ6Я	12	24	22	В
40ГТ12Я	1,8	100ГТ12Я	12	48	44	В
40ГТ18Я	1,8	100ГТ18Я	12	72	66	В
40ГТ24Я	1,8	100ГТ24Я	12	96	88	В

Табл. 9.12. Параметры селеновых выпрямителей серии Я класса Д

1. Размеры элементов: 22×22 мм; 30×30 мм; 40×40 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
22ДД2Я	0,15	30ДД2Я	0,3	40ДД2Я	0,6	60	23	В
22ДД4Я	0,15	30ДД4Я	0,3	40ДД4Я	0,6	120	46	Б
22ДД6Я	0,15	30ДД6Я	0,3	40ДД6Я	0,6	180	69	А
22ДД8Я	0,15	30ДД8Я	0,3	40ДД8Я	0,6	240	92	А
22ДД10Я	0,15	30ДД10Я	0,3	40ДД10Я	0,6	300	115	А
22ДД12Я	0,15	30ДД12Я	0,3	40ДД12Я	0,6	360	135	А
22ДД16Я	0,15	30ДД16Я	0,3	40ДД16Я	0,6	480	185	А
22ДД20Я	0,15	30ДД20Я	0,3	40ДД20Я	0,6	600	230	А
22ДД24Я	0,15	30ДД24Я	0,3	40ДД24Я	0,6	720	275	А
22ДД28Я	0,15	30ДД28Я	0,3	40ДД28Я	0,6	840	320	А
22ДД32Я	0,15	30ДД32Я	0,3	40ДД32Я	0,6	960	370	А
22ДС2Я	0,3	30ДС2Я	0,6	40ДС2Я	1,2	30	11	В

1	2	3	4	5	6	7	8	9
22ДМ4Я	0,3	30ДМ4Я	0,6	40ДМ4Я	1,2	30	22	В
22ДМ8Я	0,3	30ДМ8Я	0,6	40ДМ8Я	1,2	60	45	В
22ДМ12Я	0,3	30ДМ12Я	0,6	40ДМ12Я	1,2	90	67	В
22ДМ16Я	0,3	30ДМ16Я	0,6	40ДМ16Я	1,2	120	90	В
22ДМ20Я	0,3	30ДМ20Я	0,6	40ДМ20Я	1,2	150	110	Б
22ДМ24Я	0,3	30ДМ24Я	0,6	40ДМ24Я	1,2	180	135	Б
22ДМ32Я	0,3	30ДМ32Я	0,6	40ДМ32Я	1,2	240	180	Б
—	—	30ДЕ2Я	0,3	40ДЕ2Я	0,6	60	23	А
—	—	30ДЕ4Я	0,3	40ДЕ4Я	0,6	120	46	А
—	—	30ДЕ6Я	0,3	40ДЕ6Я	0,6	180	69	А
—	—	30ДЕ8Я	0,3	40ДЕ8Я	0,6	240	92	А
—	—	30ДЕ10Я	0,3	40ДЕ10Я	0,6	300	115	А
—	—	30ДЕ12Я	0,3	40ДЕ12Я	0,6	360	135	А
—	—	30ДЕ16Я	0,3	40ДЕ16Я	0,6	480	185	А
—	—	30ДЕ20Я	0,3	40ДЕ20Я	0,6	600	230	А
—	—	30ДЕ24Я	0,3	40ДЕ24Я	0,6	720	275	А
—	—	30ДЕ28Я	0,3	40ДЕ28Я	0,6	840	320	А
—	—	30ДЕ32Я	0,3	40ДЕ32Я	0,6	960	370	А

2. Размеры элементов: 75×75 мм; 100×300 мм; 100×400 мм

75ДД2Я	2	130ДД2Я	10	140ДД2Я	12	60	23	В
75ДД4Я	2	130ДД4Я	10	140ДД4Я	12	120	46	Б
75ДД6Я	2	130ДД6Я	10	140ДД6Я	12	180	69	А
75ДД8Я	2	130ДД8Я	10	140ДД8Я	12	240	92	А
75ДД12Я	2	130ДД12Я	10	140ДД12Я	12	360	135	А
75ДД16Я	2	130ДД16Я	10	140ДД16Я	12	480	185	А
75ДД20Я	2	130ДД20Я	10	140ДД20Я	12	600	230	А
75ДД24Я	2	130ДД24Я	10	140ДД24Я	12	720	275	А
75ДД10Я5	9	130ДД10Я5	45	140ДД10Я5	54	60	23	В
75ДД20Я5	9	130ДД20Я5	45	140ДД20Я5	54	120	46	В
75ДМ4Я	4	130ДМ4Я	20	140ДМ4Я	24	30	22	В
75ДМ8Я	4	130ДМ8Я	20	140ДМ8Я	24	60	45	В
75ДМ12Я	4	130ДМ12Я	20	140ДМ12Я	24	90	67	Б
75ДМ16Я	4	130ДМ16Я	20	140ДМ16Я	24	120	90	Б
75ДМ20Я	4	130ДМ20Я	20	140ДМ20Я	24	150	110	Б
75ДМ24Я	4	130ДМ24Я	20	140ДМ24Я	24	180	135	Б
75ДМ8Я2	8	130ДМ8Я2	40	140ДМ8Я2	48	30	22	В
75ДМ16Я2	8	130ДМ16Я2	40	140ДМ16Я2	48	60	45	В
75ДМ24Я2	8	130ДМ24Я2	40	140ДМ24Я2	48	90	67	В
75ДМ12Я3	11	130ДМ12Я3	54	140ДМ12Я3	65	30	22	В
75ДМ24Я3	11	130ДМ24Я3	54	140ДМ24Я3	65	60	45	В
75ДМ20Я5	18	130ДМ20Я5	90	140ДМ20Я5	105	30	22	В
75ДМ24Я6	21,5	130ДМ24Я6	105	140ДМ24Я6	130	30	22	В
75ДТ6Я	6	130ДТ6Я	30	140ДТ6Я	36	29	26	В
75ДТ12Я	6	130ДТ12Я	30	140ДТ12Я	36	58	52	В

1	2	3	4	5	6	7	8	9
75ДТ18Я	6	130ДТ18Я	30	140ДТ18Я	36	87	78	В
75ДТ24Я	6	130ДТ24Я	30	140ДТ24Я	36	115	104	В
75ДТ18ЯЗ	16	130ДТ18ЯЗ	80	140ДТ18ЯЗ	98	29	26	В

3. Размеры элементов: 100×100 мм; 100×200 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
100ДД2Я	4	120ДД2Я	6,5	60	23	В
100ДД4Я	4	120ДД4Я	6,5	120	46	Б
100ДД6Я	4	120ДД6Я	6,5	180	69	А
100ДД8Я	4	120ДД8Я	6,5	240	92	А
100ДД12Я	4	120ДД12Я	6,5	360	135	А
100ДД16Я	4	120ДД16Я	6,5	480	185	А
100ДД20Я	4	120ДД20Я	6,5	600	230	А
100ДД24Я	4	120ДД24Я	6,5	720	275	А
100ДД10Я5	18	120ДД10Я5	30	60	23	В
100ДД20Я5	18	120ДД20Я5	30	120	46	В
100ДМ4Я	8	120ДМ4Я	13	30	22	В
100ДМ8Я	8	120ДМ8Я	13	60	45	В
100ДМ12Я	8	120ДМ12Я	13	90	67	Б
100ДМ16Я	8	120ДМ16Я	13	120	90	Б
100ДМ20Я	8	120ДМ20Я	13	150	110	Б
100ДМ24Я	8	120ДМ24Я	13	180	135	Б
100ДМ20Я5	36	120ДМ20Я5	58	30	22	В
100ДТ6Я	12	120ДТ6Я	19,5	29	26	В
100ДТ12Я	12	120ДТ12Я	19,5	58	52	В
100ДТ18Я	12	120ДТ18Я	19,5	87	78	В
100ДТ24Я	12	120ДТ24Я	19,5	115	104	В

Табл. 9.13. Параметры селеновых выпрямителей серии Г класса Д

1. Размеры элементов: Ø 18 мм; Ø 25 мм; 40×40 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18ДД2Г	0,04	25ДД2Г	0,075	40ДД2Г	0,3	60	23	В
18ДД4Г	0,04	25ДД4Г	0,075	40ДД4Г	0,3	120	46	Б
18ДД6Г	0,04	25ДД6Г	0,075	40ДД6Г	0,3	180	69	А
18ДД8Г	0,04	25ДД8Г	0,075	40ДД8Г	0,3	240	92	А
18ДД10Г	0,04	25ДД10Г	0,075	40ДД10Г	0,3	300	115	А

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18ДД12Г	0,04	25ДД12Г	0,075	40ДД12Г	0,3	360	135	А
18ДД14Г	0,04	25ДД14Г	0,075	40ДД14Г	0,3	420	160	А
18ДД16Г	0,04	25ДД16Г	0,075	40ДД16Г	0,3	480	185	А
18ДД18Г	0,04	25ДД18Г	0,075	40ДД18Г	0,3	540	205	А
18ДД20Г	0,04	25ДД20Г	0,075	40ДД20Г	0,3	600	230	А
18ДД22Г	0,04	25ДД22Г	0,075	40ДД22Г	0,3	660	250	А
18ДД24Г	0,04	25ДД24Г	0,075	40ДД24Г	0,3	720	275	А
18ДД26Г	0,04	25ДД26Г	0,075	40ДД26Г	0,3	730	300	А
18ДД28Г	0,04	25ДД28Г	0,075	40ДД28Г	0,3	840	320	А
18ДД30Г	0,04	25ДД30Г	0,075	40ДД30Г	0,3	900	345	А
18ДД32Г	0,04	25ДД32Г	0,075	40ДД32Г	0,3	960	370	А
18ДС2Г	0,075	25ДС2Г	0,15	40ДС2Г	0,6	30	11	В
18ДМ4Г	0,075	25ДМ4Г	0,15	40ДМ4Г	0,6	30	22	В
18ДМ8Г	0,075	25ДМ8Г	0,15	40ДМ8Г	0,6	60	45	В
18ДМ12Г	0,075	25ДМ12Г	0,15	40ДМ12Г	0,6	90	67	Б
18ДМ16Г	0,075	25ДМ16Г	0,15	40ДМ16Г	0,6	120	90	Б
18ДМ20Г	0,075	25ДМ20Г	0,15	40ДМ20Г	0,6	150	110	Б
18ДМ24Г	0,075	25ДМ24Г	0,15	40ДМ24Г	0,6	180	135	Б
18ДМ28Г	0,075	25ДМ28Г	0,15	40ДМ28Г	0,6	210	155	Б
18ДМ32Г	0,075	25ДМ32Г	0,15	40ДМ32Г	0,6	240	180	Б

2. Размеры элементов: $\varnothing 75$ мм; 100×100мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр, А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр, А}}$	$U_{\text{подв, В}}$	$U_{\text{выпр, В}}$	Расположение выводов
1	2	3	4	5	6	7
75ДД2Г	1,2	100ДД2Г	2	60	23	В
75ДД4Г	1,2	100ДД4Г	2	120	46	Б
75ДД6Г	1,2	100ДД6Г	2	180	69	А
75ДД8Г	1,2	100ДД8Г	2	240	92	А
75ДД10Г	1,2	100ДД10Г	2	300	115	А
75ДД12Г	1,2	100ДД12Г	2	360	135	А
75ДД14Г	1,2	100ДД14Г	2	420	160	А
75ДД16Г	1,2	100ДД16Г	2	480	185	А
75ДД18Г	1,2	100ДД18Г	2	540	205	А
75ДД20Г	1,2	100ДД20Г	2	600	230	А
75ДД22Г	1,2	100ДД22Г	2	660	250	А
75ДД24Г	1,2	100ДД24Г	2	720	275	А
75ДС2Г	2,4	100ДС2Г	4	30	11	В
75ДМ4Г	2,4	100ДМ4Г	4	30	22	В
75ДМ8Г	2,4	100ДМ8Г	4	60	45	В
75ДМ12Г	2,4	100ДМ12Г	4	90	67	Б
75ДМ16Г	2,4	100ДМ16Г	4	120	90	Б
75ДМ20Г	2,4	100ДМ20Г	4	150	110	Б
75ДМ24Г	2,4	100ДМ24Г	4	180	135	Б

1	2	3	4	5	6	7
—	—	100ДМ8Г2	8	30	22	В
—	—	100ДМ16Г2	8	60	45	В
—	—	100ДМ24Г2	8	90	67	В
—	—	100ДМ12Г3	11	30	22	В
—	—	100ДМ24Г3	11	60	45	В
—	—	100ДМ16Г4	14,5	30	22	В
—	—	100ДМ20Г5	18	30	22	В
—	—	100ДМ24Г6	21,5	30	22	В
75ДТ6Г	3,6	100ДТ6Г	6	29	26	В
75ДТ12Г	3,6	100ДТ12Г	6	58	52	В
75ДТ18Г	3,6	100ДТ18Г	6	87	78	В
75ДТ24Г	3,6	100ДТ24Г	6	115	104	В

Табл. 9.14. Параметры селеновых выпрямителей серии Г класса Е

1. Размеры элементов: Ø 18 мм; Ø 25 мм; 40×40 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
18ЕД2Г	0,04	25ЕД2Г	0,075	40ЕД2Г	0,3	70	27	В
18ЕД4Г	0,04	25ЕД4Г	0,075	40ЕД4Г	0,3	140	54	Б
18ЕД6Г	0,04	25ЕД6Г	0,075	40ЕД6Г	0,3	210	81	А
18ЕД8Г	0,04	25ЕД8Г	0,075	40ЕД8Г	0,3	280	105	А
18ЕД10Г	0,04	25ЕД10Г	0,075	40ЕД10Г	0,3	350	135	А
18ЕД12Г	0,04	25ЕД12Г	0,075	40ЕД12Г	0,3	420	160	А
18ЕД16Г	0,04	25ЕД16Г	0,075	40ЕД16Г	0,3	560	215	А
18ЕД20Г	0,04	25ЕД20Г	0,075	40ЕД20Г	0,3	700	270	А
18ЕД24Г	0,04	25ЕД24Г	0,075	40ЕД24Г	0,3	840	325	А
18ЕД28Г	0,04	25ЕД28Г	0,075	40ЕД28Г	0,3	980	380	А
18ЕД32Г	0,04	25ЕД32Г	0,075	40ЕД32Г	0,3	1120	430	А
18ЕС2Г	0,075	25ЕС2Г	0,15	40ЕС2Г	0,6	35	13	В
18ЕМ4Г	0,075	25ЕМ4Г	0,15	40ЕМ4Г	0,6	35	26	В
18ЕМ8Г	0,075	25ЕМ8Г	0,15	40ЕМ8Г	0,6	70	53	В
18ЕМ12Г	0,075	25ЕМ12Г	0,15	40ЕМ12Г	0,6	105	79	Б
18ЕМ16Г	0,075	25ЕМ16Г	0,15	40ЕМ16Г	0,6	140	105	Б
18ЕМ20Г	0,075	25ЕМ20Г	0,15	40ЕМ20Г	0,6	175	130	Б
18ЕМ24Г	0,075	25ЕМ24Г	0,15	40ЕМ24Г	0,6	210	160	Б
18ЕМ32Г	0,075	25ЕМ32Г	0,15	40ЕМ32Г	0,6	280	210	Б

2. Размеры элементов: 75×75 мм; 100×100 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
1	2	3	4	5	6	7
75ЕД2Г	1,2	100ЕД2Г	2	70	27	В
75ЕД4Г	1,2	100ЕД4Г	2	140	54	Б
75ЕД6Г	1,2	100ЕД6Г	2	210	81	А

1	2	3	4	5	6	7
75ЕД8Г	1,2	100ЕД8Г	2	280	105	А
75ЕД10Г	1,2	100ЕД10Г	2	350	135	А
75ЕД12Г	1,2	100ЕД12Г	2	420	160	А
75ЕД16Г	1,2	100ЕД16Г	2	560	215	А
75ЕД20Г	1,2	100ЕД20Г	2	700	270	А
75ЕД24Г	1,2	100ЕД24Г	2	840	325	А
75ЕС2Г	2,4	100ЕС2Г	4	35	13	В
75ЕМ4Г	2,4	100ЕМ4Г	4	35	26	В
75ЕМ8Г	2,4	100ЕМ8Г	4	70	53	В
75ЕМ12Г	2,4	100ЕМ12Г	4	105	79	Б
75ЕМ16Г	2,4	100ЕМ16Г	4	140	105	Б
75ЕМ20Г	2,4	100ЕМ20Г	4	175	130	Б
75ЕМ24Г	2,4	100ЕМ24Г	4	210	160	Б
—	—	100ЕМ8Г2	8	35	26	В
—	—	100ЕМ16Г2	8	70	53	В
—	—	100ЕМ24Г2	8	105	79	В
—	—	100ЕМ12Г3	11	35	26	В
—	—	100ЕМ24Г3	11	70	53	В
—	—	100ЕМ16Г4	14,5	35	26	В
—	—	100ЕМ20Г5	18	35	26	В
—	—	100ЕМ24Г6	21,5	35	26	В
75ЕТ6Г	3,6	100ЕТ6Г	6	33	30	В
75ЕТ12Г	3,6	100ЕТ12Г	6	66	60	В
75ЕТ18Г	3,6	100ЕТ18Г	6	99	90	В
75ЕТ24Г	3,6	100ЕТ24Г	6	130	120	В

Табл. 9.15. Параметры селеновых выпрямителей серии Г класса И

1. Размеры элементов: Ø 18 мм; Ø 25 мм; 40×40 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18ИД2Г	0,04	25ИД2Г	0,075	40ИД2Г	0,3	80	31	В
18ИД4Г	0,04	25ИД4Г	0,075	40ИД4Г	0,3	160	62	Б
18ИД6Г	0,04	25ИД6Г	0,075	40ИД6Г	0,3	240	93	А
18ИД8Г	0,04	25ИД8Г	0,075	40ИД8Г	0,3	320	125	А
18ИД10Г	0,04	25ИД10Г	0,075	40ИД10Г	0,3	400	155	А
18ИД12Г	0,04	25ИД12Г	0,075	40ИД12Г	0,3	480	185	А
18ИД16Г	0,04	25ИД16Г	0,075	40ИД16Г	0,3	640	250	А
18ИД20Г	0,04	25ИД20Г	0,075	40ИД20Г	0,3	800	310	А
18ИД24Г	0,04	25ИД24Г	0,075	40ИД24Г	0,3	960	370	А
18ИД28Г	0,04	25ИД28Г	0,075	40ИД28Г	0,3	1120	435	А
18ИД32Г	0,04	25ИД32Г	0,075	40ИД32Г	0,3	1280	495	А

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18ИС2Г	0,075	25ИС2Г	0,15	40ИС2Г	0,6	40	15	В
18ИМ4Г	0,075	25ИМ4Г	0,15	40ИМ4Г	0,6	40	31	В
18ИМ8Г	0,075	25ИМ8Г	0,15	40ИМ8Г	0,6	80	62	В
18ИМ12Г	0,075	25ИМ12Г	0,15	40ИМ12Г	0,6	120	93	Б
18ИМ16Г	0,075	25ИМ16Г	0,15	40ИМ16Г	0,6	160	125	Б
18ИМ20Г	0,075	25ИМ20Г	0,15	40ИМ20Г	0,6	200	155	Б
18ИМ24Г	0,075	25ИМ24Г	0,15	40ИМ24Г	0,6	240	185	Б
18ИМ32Г	0,075	25ИМ32Г	0,15	40ИМ32Г	0,6	320	250	Б

2. Размеры элементов: 75×75 мм; 100×100 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположе- ние выво- дов
75ИД2Г	1,2	100ИД2Г	2	80	31	В
75ИД4Г	1,2	100ИД4Г	2	160	62	Б
75ИД6Г	1,2	100ИД6Г	2	240	93	А
75ИД8Г	1,2	100ИД8Г	2	320	125	А
75ИД10Г	1,2	100ИД10Г	2	400	155	А
75ИД12Г	1,2	100ИД12Г	2	480	185	А
75ИД16Г	1,2	100ИД16Г	2	640	250	А
75ИД20Г	1,2	100ИД20Г	2	800	310	А
75ИД24Г	1,2	100ИД24Г	2	960	370	А
75ИС2Г	2,4	100ИС2Г	4	40	15	В
75ИМ4Г	2,4	100ИМ4Г	4	40	31	В
75ИМ8Г	2,4	100ИМ8Г	4	80	62	В
75ИМ12Г	2,4	100ИМ12Г	4	120	93	Б
75ИМ16Г	2,4	100ИМ16Г	4	160	125	Б
75ИМ20Г	2,4	100ИМ20Г	4	200	155	Б
75ИМ24Г	2,4	100ИМ24Г	4	240	185	Б
—	—	100ИМ8Г2	8	40	31	Б
—	—	100ИМ16Г2	8	80	62	В
—	—	100ИМ24Г2	8	120	93	В
—	—	100ИМ24Г3	11	80	62	В
—	—	100ИМ12Г3	11	40	31	В
—	—	100ИМ16Г4	14,5	40	31	В
—	—	100ИМ20Г5	18	40	31	В
—	—	100ИМ24Г6	21,5	40	31	В
75ИТ6Г	3,6	100ИТ6Г	6	39	34	В
75ИТ12Г	3,6	100ИТ12Г	6	78	68	В
75ИТ18Г	3,6	100ИТ18Г	6	115	102	В
75ИТ24Г	3,6	100ИТ24Г	6	155	136	В

Табл. 9.16. Параметры селеновых выпрямителей серии Г класса К

1. Размеры элементов: $\varnothing 18$ мм; $\varnothing 25$ мм; 40×40 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
18КД2Г	0,04	25КД2Г	0,075	40КД2Г	0,3	90	36	Б
18КД4Г	0,04	25КД4Г	0,075	40КД4Г	0,3	180	72	Б
18КД6Г	0,04	25КД6Г	0,075	40КД6Г	0,3	270	105	А
18КД8Г	0,04	25КД8Г	0,075	40КД8Г	0,3	360	145	А
18КД10Г	0,04	25КД10Г	0,075	40КД10Г	0,3	450	180	А
18КД12Г	0,04	25КД12Г	0,075	40КД12Г	0,3	540	215	А
18КД16Г	0,04	25КД16Г	0,075	40КД16Г	0,3	720	290	А
18КД20Г	0,04	25КД20Г	0,075	40КД20Г	0,3	900	360	А
18КД24Г	0,04	25КД24Г	0,075	40КД24Г	0,3	1080	430	А
18КД28Г	0,04	25КД28Г	0,075	40КД28Г	0,3	1260	505	А
18КД32Г	0,04	25КД32Г	0,075	40КД32Г	0,3	1440	575	А
18КС2Г	0,075	25КС2Г	0,15	40КС2Г	0,6	45	18	В
18КМ4Г	0,075	25КМ4Г	0,15	40КМ4Г	0,6	45	35	В
18КМ8Г	0,075	25КМ8Г	0,15	40КМ8Г	0,6	90	70	В
18КМ12Г	0,075	25КМ12Г	0,15	40КМ12Г	0,6	135	105	Б
18КМ16Г	0,075	25КМ16Г	0,15	40КМ16Г	0,6	180	140	Б
18КМ20Г	0,075	25КМ20Г	0,15	40КМ20Г	0,6	225	175	Б
18КМ24Г	0,075	25КМ24Г	0,15	40КМ24Г	0,6	270	215	Б
18КМ32Г	0,075	25КМ32Г	0,15	40КМ32Г	0,6	360	285	Б

2. Размеры элементов: 75×75 мм; 100×100 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	расположение выводов
75КД2Г	1,2	100КД2Г	2	90	36	В
75КД4Г	1,2	100КД4Г	2	180	72	Б
75КД6Г	1,2	100КД6Г	2	270	105	А
75КД8Г	1,2	100КД8Г	2	360	145	А
75КД10Г	1,2	100КД10Г	2	450	180	А
75КД12Г	1,2	100КД12Г	2	540	215	А
75КД16Г	1,2	100КД16Г	2	720	290	А
75КД20Г	1,2	100КД20Г	2	900	360	А
75КД24Г	1,2	100КД24Г	2	1080	430	А
75КС2Г	2,4	100КС2Г	4	45	18	В
75КМ4Г	2,4	100КМ4Г	4	45	35	В
75КМ8Г	2,4	100КМ8Г	4	90	70	В
75КМ12Г	2,4	100КМ12Г	4	135	105	Б
75КМ16Г	2,4	100КМ16Г	4	180	140	Б
75КМ20Г	2,4	100КМ20Г	4	225	175	Б
75КМ24Г	2,4	100КМ24Г	4	270	215	Б
—	—	100КМ8Г2	8	45	35	В
—	—	100КМ16Г2	8	90	70	В
—	—	100КМ24Г2	8	135	105	В

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
—	—	100КМ12Г3	11	45	35	В
—	—	100КМ24Г3	11	90	70	В
—	—	100КМ16Г4	14,5	45	35	В
—	—	100КМ20Г5	18	45	35	В
—	—	100КМ24Г6	21,5	45	35	В
75КТ6Г	3,6	100КТ6Г	6	45	38	В
75КТ12Г	3,6	100КТ12Г	6	90	76	В
75КТ18Г	3,6	100КТ18Г	6	135	114	В
75КТ24Г	3,6	100КТ24Г	6	180	152	В

Табл. 9.17. Параметры селеновых выпрямителей серии У класса В

1. Размеры элементов: 17×17 мм; 22×22 мм; 30×30 мм; 48×48 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
17ВД2У	0,15	22ВД2У	0,3	30ВД2У	0,6	48ВД2У	1,2	40	14	В
17ВД4У	0,15	22ВД4У	0,3	30ВД4У	0,6	48ВД4У	1,2	80	29	Б
17ВД6У	0,15	22ВД6У	0,3	30ВД6У	0,6	48ВД6У	1,2	120	43	А
17ВД8У	0,15	22ВД8У	0,3	30ВД8У	0,6	48ВД8У	1,2	160	58	А
17ВД10У	0,15	22ВД10У	0,3	30ВД10У	0,6	48ВД10У	1,2	200	72	А
17ВД12У	0,15	22ВД12У	0,3	30ВД12У	0,6	48ВД12У	1,2	240	87	А
17ВД16У	0,15	22ВД16У	0,3	30ВД16У	0,6	48ВД16У	1,2	320	115	А
17ВД20У	0,15	22ВД20У	0,3	30ВД20У	0,6	48ВД20У	1,2	400	145	А
17ВД24У	0,15	22ВД24У	0,3	30ВД24У	0,6	48ВД24У	1,2	480	175	А
17ВД28У	0,15	22ВД28У	0,3	30ВД28У	0,6	—	—	560	205	А
17ВД32У	0,15	22ВД32У	0,3	30ВД32У	0,6	—	—	640	230	А
17ВС2У	0,3	22ВС2У	0,6	30ВС2У	1,2	48ВС2У	2,4	20	7	В
17ВМ4У	0,3	22ВМ4У	0,6	30ВМ4У	1,2	48ВМ4У	2,4	20	14	В
17ВМ8У	0,3	22ВМ8У	0,6	30ВМ8У	1,2	48ВМ8У	2,4	40	29	В
17ВМ12У	0,3	22ВМ12У	0,6	30ВМ12У	1,2	48ВМ12У	2,4	60	43	Б
17ВМ16У	0,3	22ВМ16У	0,6	30ВМ16У	1,2	48ВМ16У	2,4	80	58	Б
17ВМ20У	0,3	22ВМ20У	0,6	30ВМ20У	1,2	48ВМ20У	2,4	100	72	Б
17ВМ24У	0,3	22ВМ24У	0,6	30ВМ24У	1,2	48ВМ24У	2,4	120	87	Б
17ВМ32У	0,3	22ВМ32У	0,6	30ВМ32У	1,2	—	—	160	115	Б

2. Размеры элементов: 60×60 мм; 75×75 мм; 80×100 мм; 100×200 мм

60ВД2У	1,5	75ВД2У	2	81ВД2У	4	120ВД2У	8	40	14	В
60ВД4У	1,5	75ВД4У	2	81ВД4У	4	120ВД4У	8	80	29	Б
60ВД6У	1,5	75ВД6У	2	81ВД6У	4	120ВД6У	8	120	43	А
60ВД8У	1,5	75ВД8У	2	81ВД8У	4	120ВД8У	8	160	58	А
60ВД10У	1,5	75ВД10У	2	—	—	—	—	200	72	А
60ВД12У	1,5	75ВД12У	2	81ВД12У	4	120ВД12У	8	240	87	А

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
60ВД16У	1,5	75ВД16У	2	81ВД16У	4	120ВД16У	8	320	115	А
60ВД20У	1,5	75ВД20У	2	81ВД20У	4	120ВД20У	8	400	145	А
60ВД24У	1,5	75ВД24У	2	81ВД24У	4	120ВД24У	8	480	175	А
60ВС2У	3	75ВС2У	4	—	—	—	—	20	7	В
60ВМ4У	3	75ВМ4У	4	81ВМ4У	8	120ВМ4У	16	20	14	В
60ВМ8У	3	75ВМ8У	4	81ВМ8У	8	120ВМ8У	16	40	29	В
60ВМ12У	3	75ВМ12У	4	81ВМ12У	8	120ВМ12У	16	60	43	Б
60ВМ16У	3	75ВМ16У	4	81ВМ16У	8	120ВМ16У	16	80	58	Б
60ВМ20У	3	75ВМ20У	4	81ВМ20У	8	120ВМ20У	16	100	72	Б
60ВМ24У	3	75ВМ24У	4	81ВМ24У	8	120ВМ24У	16	120	87	Б
60ВТ6У	4,5	75ВТ6У	6	81ВТ6У	12	120ВТ6У	24	18	17,5	В
60ВТ12У	4,5	75ВТ12У	6	81ВТ12У	12	120ВТ12У	24	37	35	В
60ВТ18У	4,5	75ВТ18У	6	81ВТ18У	12	120ВТ18У	24	55	52	В
60ВТ24У	4,5	75ВТ24У	6	81ВТ24У	12	120ВТ24У	24	74	70	В

Табл. 9.18. Параметры селеновых выпрямителей серии У класса Г

1. Размеры элементов: 17×17 мм; 30×30 мм; 48×48 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр. А}}$	$U_{\text{подв. В}}$	$U_{\text{выпр. В}}$	Расположение выводов
17ГД2У	0,15	30ГД2У	0,45	48ГД2У	1,2	50	19	В
17ГД4У	0,15	30ГД4У	0,45	48ГД4У	1,2	100	38	Б
17ГД6У	0,15	30ГД6У	0,45	48ГД6У	1,2	150	57	А
17ГД8У	0,15	30ГД8У	0,45	48ГД8У	1,2	200	76	А
17ГД10У	0,15	30ГД10У	0,45	48ГД10У	1,2	250	95	А
17ГД12У	0,15	30ГД12У	0,45	48ГД12У	1,2	300	115	А
17ГД16У	0,15	30ГД16У	0,45	48ГД16У	1,2	400	150	А
17ГД20У	0,15	30ГД20У	0,45	48ГД20У	1,2	500	190	А
17ГД24У	0,15	30ГД24У	0,45	48ГД24У	1,2	600	230	А
17ГС2У	0,3	30ГС2У	0,9	48ГС2У	2,4	25	9	В
17ГМ4У	0,3	30ГМ4У	0,9	48ГМ4У	2,4	25	18	В
17ГМ8У	0,3	30ГМ8У	0,9	48ГМ8У	2,4	50	37	В
17ГМ12У	0,3	30ГМ12У	0,9	48ГМ12У	2,4	75	55	Б
17ГМ16У	0,3	30ГМ16У	0,9	48ГМ16У	2,4	100	75	Б
17ГМ20У	0,3	30ГМ20У	0,9	48ГМ20У	2,4	125	92	Б
17ГМ24У	0,3	30ГМ24У	0,9	48ГМ24У	2,4	150	110	Б

2. Размеры элементов: 60×60 мм; 80×100 мм; 80×160 мм

60ГД2У	2,2	81ГД2У	4	816ГД2У	6	50	19	В
60ГД4У	2,2	81ГД4У	4	816ГД4У	6	100	38	Б
60ГД6У	2,2	81ГД6У	4	816ГД6У	6	150	57	А
60ГД8У	2,2	81ГД8У	4	816ГД8У	6	200	76	А

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	$U_{\text{подв.}}$ В	$U_{\text{выпр.}}$ В	Располо- жение выводов
60ГД12У	2,2	81ГД12У	4	816ГД12У	6	300	115	А
60ГД16У	2,2	81ГД16У	4	816ГД16У	6	400	150	А
60ГД20У	2,2	81ГД20У	4	816ГД20У	6	500	190	А
60ГД24У	2,2	81ГД24У	4	816ГД24У	6	600	230	А
60ГМ4У	3	81ГМ4У	8	816ГМ2У	12	25	18	В
60ГМ8У	3	81ГМ8У	8	816ГМ6У	12	50	37	В
60ГМ12У	3	81ГМ12У	8	816ГМ12У	12	75	55	Б
60ГМ16У	3	81ГМ16У	8	816ГМ16У	12	100	74	Б
60ГМ20У	3	81ГМ20У	8	816ГМ20У	12	125	92	Б
60ГМ24У	3	81ГМ24У	8	816ГМ24У	12	150	110	Б
60ГТ6У	4,5	81ГТ6У	12	816ГТ12У	18	24	22	В
60ГТ12У	4,5	81ГТ12У	12	816ГТ16У	18	48	44	В
60ГТ18У	4,5	81ГТ18У	12	816ГТ18У	18	72	66	В
60ГТ24У	4,5	81ГТ24У	12	816ГТ24У	18	96	88	В

3. Размеры элементов: 22×22 мм; 75×75 мм; 100×200 мм

22ГД2У	0,25	75ГД2У	2	120ГД2У	8	50	19	В
22ГД4У	0,25	75ГД4У	2	120ГД4У	8	100	38	Б
22ГД6У	0,25	75ГД6У	2	120ГД6У	8	150	57	А
22ГД8У	0,25	75ГД8У	2	120ГД8У	8	200	76	А
22ГД10У	0,25	75ГД10У	2	—	—	250	95	А
22ГД12У	0,25	75ГД12У	2	120ГД12У	8	300	115	А
22ГД16У	0,25	75ГД16У	2	120ГД16У	8	400	150	А
22ГД20У	0,25	75ГД20У	2	120ГД20У	8	500	190	А
22ГД24У	0,25	75ГД24У	2	124ГД24У	8	600	230	А
22ГМ4У	0,5	75ГМ4У	4	120ГМ4У	16	25	18	В
22ГМ8У	0,5	75ГМ8У	4	120ГМ8У	16	50	37	В
22ГМ12У	0,5	75ГМ12У	4	120ГМ12У	16	75	55	Б
22ГМ16У	0,5	75ГМ16У	4	120ГМ16У	16	100	74	Б
22ГМ20У	0,5	75ГМ20У	4	120ГМ20У	16	125	92	Б
22ГМ24У	0,5	75ГМ24У	4	120ГМ24У	16	150	110	Б
—	—	75ГТ6У	6	120ГТ6У	24	24	22	В
—	—	75ГТ12У	6	120ГТ12У	24	48	44	В
—	—	75ГТ18У	6	120ГТ18У	24	72	66	В
—	—	75ГТ24У	6	120ГТ24У	24	96	88	В

Табл. 9.19. Параметры селеновых выпрямителей серии У класса Д

1. Размеры элементов: 75×75 мм; 80×100 мм; 100×200 мм

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	$U_{\text{подв.}}$ В	$U_{\text{выпр.}}$ В	Располо- жение выводов
75ДД2У	2	81ДД2У	4	120ДД2У	8	60	23	В
75ДД4У	2	81ДД4У	4	120ДД4У	8	120	46	Б
75ДД6У	2	81ДД6У	4	120ДД6У	8	180	69	А
75ДД8У	2	81ДД8У	4	120ДД8У	8	240	92	А
75ДД12У	2	81ДД12У	4	120ДД12У	8	360	135	А
75ДД16У	2	81ДД16У	4	120ДД16У	8	480	185	А
75ДД20У	2	81ДД20У	4	120ДД20У	8	600	230	А
75ДД24У	2	81ДД24У	4	120ДД24У	8	720	275	А
75ДМ4У	4	81ДМ4У	8	120ДМ4У	16	30	22	В
75ДМ8У	4	81ДМ8У	8	120ДМ8У	16	60	45	В
75ДМ12У	4	81ДМ12У	8	120ДМ12У	16	90	67	Б
75ДМ16У	4	81ДМ16У	8	120ДМ16У	16	120	90	Б
75ДМ20У	4	81ДМ20У	8	120ДМ20У	16	150	110	Б
75ДМ24У	4	81ДМ24У	8	120ДМ24У	16	180	135	Б
75ДТ6У	6	81ДТ6У	12	120ДТ6У	24	29	26	В
75ДТ12У	6	81ДТ12У	12	120ДТ12У	24	58	52	В
75ДТ18У	6	81ДТ18У	12	120ДТ18У	24	87	78	В
75ДТ24У	6	81ДТ24У	12	120ДТ24У	24	115	104	В

2. Размеры элементов: 48×48 мм; 60×60 мм; 80×160 мм

48ДД2У	1,2	60ДД2У	1,5	816ДД2У	6	60	23	В
48ДД4У	1,2	60ДД4У	1,5	816ДД4У	6	120	46	Б
48ДД6У	1,2	60ДД6У	1,5	816ДД6У	6	180	69	А
48ДД8У	1,2	60ДД8У	1,5	816ДД8У	6	240	92	А
48ДД10У	1,2	60ДД10У	1,5	—	—	300	115	А
48ДД12У	1,2	60ДД12У	1,5	816ДД12У	6	360	135	А
48ДД16У	1,2	60ДД16У	1,5	816ДД16У	6	480	185	А
48ДД20У	1,2	60ДД18У	1,5	816ДД20У	6	600	230	А
48ДД24У	1,2	60ДД24У	1,5	816ДД24У	6	720	275	А
48ДС2У	2,4	60ДС2У	3	—	—	30	11	В
48ДМ4У	2,4	60ДМ4У	3	816ДМ4У	12	30	22	В
48ДМ8У	2,4	60ДМ8У	3	816ДМ8У	12	60	45	В
48ДМ12У	2,4	60ДМ12У	3	816ДМ12У	12	90	67	Б
48ДМ16У	2,4	60ДМ16У	3	816ДМ16У	12	120	90	Б
48ДМ20У	2,4	60ДМ20У	3	816ДМ20У	12	150	110	Б
48ДМ24У	2,4	60ДМ24У	3	816ДМ24У	12	180	135	Б
48ДТ6У	3,6	60ДТ6У	4,5	816ДТ6У	18	29	26	В
48ДТ12У	3,6	60ДТ12У	4,5	816ДТ12У	18	58	52	В
48ДТ18У	3,6	60ДТ18У	4,5	816ДТ18У	18	87	78	В
48ДТ24У	3,6	60ДТ24У	4,5	816ДТ24У	18	115	104	В

3. Размеры элементов: 17×17 мм; 22×22 мм; 30×30 мм

17ДД2У	0,15	22ДД2У	0,3	30ДД2У	0,6	60	23	В
17ДД4У	0,15	22ДД4У	0,3	30ДД4У	0,6	120	46	Б
17ДД6У	0,15	22ДД6У	0,3	30ДД6У	0,6	180	69	А
17ДД8У	0,15	22ДД8У	0,3	30ДД8У	0,6	240	92	А

Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	Тип выпрямителя	$I_{\text{выпр.}}$ А	$U_{\text{подв.}}$ В	$U_{\text{выпр.}}$ В	Располо- жение выводов
17ДД10У	0,15	22ДД10У	0,3	30ДД10У	0,6	300	115	А
17ДД12У	0,15	22ДД12У	0,3	30ДД12У	0,6	360	135	А
17ДД16У	0,15	22ДД16У	0,3	30ДД16У	0,6	480	185	А
17ДД20У	0,15	22ДД20У	0,3	30ДД20У	0,6	600	230	А
17ДД24У	0,15	22ДД24У	0,3	30ДД24У	0,6	720	275	А
17ДД28У	0,15	22ДД28У	0,3	30ДД28У	0,6	840	320	А
17ДД32У	0,15	22ДД32У	0,3	30ДД32У	0,6	960	370	А
17ДС2У	0,3	22ДС2У	0,6	30ДС2У	1,2	30	11	В
17ДМ4У	0,3	—	—	30ДМ4У	1,2	30	22	В
17ДМ8У	0,3	—	—	30ДМ8У	1,2	60	45	В
17ДМ12У	0,3	—	—	30ДМ12У	1,2	90	67	Б
17ДМ16У	0,3	—	—	30ДМ16У	1,2	120	90	Б
17ДМ20У	0,3	—	—	30ДМ20У	1,2	150	110	Б
17ДМ24У	0,3	—	—	30ДМ24У	1,2	180	135	Б
17ДМ32У	0,3	—	—	30ДМ32У	1,2	240	180	Б

10. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ (ВЕНТИЛИ)

10.1. Устройство и определение основных электрических параметров

Вентиль (диод) — полупроводниковый прибор, имеющий двухслойную структуру с одним электронно-дырочным переходом и обладающий способностью пропускать ток в прямом направлении и запирающий ток в обратном направлении.

Устройство сплавного кремниевого вентиля большой мощности показано на рис. 10.1. К медному основанию 1 припаяется нижний электрод вентильного элемента 2, внутренний медный канатик 3 через чашечку припаян к верхнему электроду. Стекло-металлический корпус 4 соединен с основанием. Стекло-металлическое кольцо 5 электрически изолирует верхний анодный вывод от основания вентиля, которое является катодом. Наружный гибкий анодный вывод 8 соединен с гибким канатиком через разделительный стержень 7. В целях герметизации вентиля разделительный стержень припаяется к стальной втулке 6.

Метод получения *вентилей диффузионного типа* заключается в следующем. На одну из плоскостей очищенной от примесей кремниевой шайбы электронного типа проводимости наносят слой раствора азотнокислого алюминия и борной кислоты и помещают в печь, где при температуре 1300° К протекает диффузионный процесс. В результате алюминий и бор диффундируют в кремний на глубину 110... 120 мкм, создавая слой кремния с дырочной проводимостью. Примесь бора необходима для повышения поверхностной концентрации.

Обычные кремниевые вентили (рис. 10.2, а) в режиме перегрузок могут рассеивать значительные мощности (несколько киловатт)

при протекании тока в прямом направлении. Однако при протекании тока в обратном направлении они могут выйти из строя даже при кратковременных перегрузках от нескольких ватт выделившейся мощности. Это объясняется тем, что прямой ток, протекая через структуру, практически не встречает сопротивления (10^{-3} Ом) и распределяется равномерно по всей ее площади. Обратный ток, проходя через структуру и встречая большое сопротивление (10^5 Ом), локализуется в местах с наименьшим сопротивлением, которые возникают в результате отдельных дефектов структуры.

У вентилей с *контролируемым лавинообразованием* (лавинных вентилей) пробивное напряжение центральной зоны структуры ниже пробивного напряжения по поверхности, в результате чего обратный ток в процессе пробоя, хотя и нарастает лавинообразно, но остается «управляемым». При этом достигается наиболее равномерное распределение потерь по площади структуры.

Основой лавинного вентиля является двухслойная монокристаллическая структура кремния с охранным кольцом (рис. 10.2, б), которое уменьшает возможность возникновения поверхностного пробоя и представляет собой кольцевую зону шириной до 2 мм с дырочной проводимостью, полученную методом диффузии алюминия по периметру в объеме монокристалла. В этой зоне градиент концентрации основных носителей заряда меньше, чем в центральной зоне структуры, в результате чего пробивное напряжение в ней на 200... 500 В выше, чем в центральной зоне. Подбором удельного сопротивления кремния и параметров диффузионного процесса можно изготовить переходы с заранее заданным напряжением лавинообразования.

Вентили с контролируемым лавинообразованием обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными вентилями. К ним относятся: значительно большая рассеиваемая мощность в обратном направлении и поэтому большая устойчивость к различного рода перенапряжениям, отсутствие устройств деления напряжения при последовательном соединении и др. По конструкции лавинные вентили не отличаются от вентилей, выполненных методом диффузии примесей.

Конструктивно вентили выполняются в виде следующих разновидностей.

Вентили с паяными контактами — вентили, у которых электрический и тепловой контакт полупроводниковой структуры с анодным и катодным выводами осуществлен пайкой.

Вентили с прижимными контактами — вентили, у которых электрический и тепловой контакт полупроводниковой структуры с анодным и (или) катодным выводами осуществлен механически (усилием сжатия).

Вентили штыревой конструкции — вентили, у которых анодный или катодный вывод выполнен в виде шпильки с резьбой для присоединения к охлаждающей.

Вентили таблеточной конструкции — вентили, у которых корпус со стороны анодного и катодного выводов ограничен плоскими

поверхностями, предназначенными для присоединения к охлаждающему.

Вентили, у которых корпус является катодным выводом, называют *вентиллями прямой полярности*. У *вентилей обратной полярности* корпус прибора служит анодным выводом.

К основным электрическим параметрам вентилей относятся следующие.

Рекомендуемое рабочее напряжение — амплитудное значение напряжения синусоидальной формы, прикладываемого к вентилю в обратном направлении, при отсутствии повторяющихся и неповторяющихся напряжений.

Предельные возможности использования вентилей и предельные условия их эксплуатации определяются предельно допустимыми значениями отдельных величин. При любых режимах эксплуатации значения воздействующих на клапан величин не должны быть выше или ниже предельных значений в зависимости от того, являются ли предельные значения максимальными или минимальными; превышение предельных значений может привести к выходу клапана из строя.

Предельный ток клапана — максимально допустимое среднее за период значение тока частотой 50 Гц синусоидальной формы, длительно протекающего через клапан при его работе в однофазной однополупериодной схеме на активную нагрузку и угле проводимости 180 эл. градусов при температуре электронно-дырочного перехода, равной максимально допустимой, и при определенных тепловых условиях. При нагрузке клапана предельным током рабочее перегрузки недопустимы.

Предельный ток при заданной температуре корпуса определяет тип клапана и указывается в таблице основных параметров.

Ток рабочей перегрузки — ток нагрузки из режима с током меньше предельного в данных условиях работы, длительное протекание которого вызывало бы превышение максимально допустимой температуры электронно-дырочного перехода, но который ограничен по времени так, что превышения этой температуры не происходит. (Число рабочих перегрузок по току за срок службы клапана при воздействии повторяющихся напряжений не ограничивается.)

Ток аварийной перегрузки — ток, протекание которого вызывает превышение максимально допустимой температуры электронно-дырочного перехода, но воздействие которого предполагается лишь ограниченное число раз за время срока службы клапана как результат необычных условий работы схемы (например, аварийных условий). При этом возможна временная потеря запирающих свойств клапана, что необходимо учитывать и принимать меры, исключающие повреждение клапана. По значению тока аварийной перегрузки выбирают защиту клапана.

Ударный ток — максимальная амплитуда импульса аварийного тока синусоидальной формы длительностью 10 мс при заданной начальной температуре электронно-дырочного перехода без последующего приложения напряжения.

Значение $\int i^2 dt$ — максимально допустимое значение интеграла квадрата аварийного тока по времени при заданной начальной температуре электронно-дырочного перехода и без приложения напряжения после воздействия импульса тока.

Повторяющееся напряжение — наибольшее мгновенное значение напряжения, прикладываемого к вентилю в обратном направлении, с учетом всех повторяющихся переходных напряжений, но исключая все неповторяющиеся переходные напряжения. Повторяющееся напряжение обычно является функцией схемы преобразователя (например, выбросы при восстановлении обратного напряжения на вентиле после коммутации) и увеличивает мощность, рассеиваемую в вентиле.

Внутреннее установившееся тепловое сопротивление — отношение превышения температуры электронно-дырочного перехода над температурой корпуса вентиля к рассеиваемой мощности в установившемся режиме.

Неповторяющееся напряжение — наибольшее мгновенное значение любого неповторяющегося переходного напряжения, прикладываемого к вентилю в обратном направлении. Неповторяющееся переходное напряжение обычно определяется внешней по отношению к преобразователю причиной (например, грозовые или внутренние перенапряжения в питающей сети переменного тока); предполагается, что его влияние полностью исчезает перед следующим прикладываемым извне перенапряжением.

Мощность потерь в прямом направлении — среднее за период значение произведения мгновенных значений прямого тока и прямого падения напряжения.

Максимальное обратное напряжение (напряжение лавинообразования для вентиля ВЛ) — напряжение, соответствующее области загиба обратной ветви вольт-амперной характеристики вентиля (или области лавинообразования для вентиля ВЛ), когда даже при небольшом приращении напряжения резко увеличивается обратный ток.

Обратный ток — ток, протекающий через вентиль при приложении к нему обратного напряжения.

Прямое падение напряжения — значение напряжения на вентиле при прохождении через него прямого тока.

10.2. Условные обозначения и классификация вентиляей

В обозначении типа вентиля *буквы* обозначают: В — вентиль, Л — с лавинной характеристикой; *цифры* — предельный ток в амперах. Для вентиляей с *водяным охлаждением* после буквы В или Л добавляется буква В. При наличии нескольких конструктивных исполнений вентиля одного и того же типа буквенную часть обозначения типа дополняют цифрой, указывающей номер исполнения (для первого исполнения цифру 1 не указывают). В этом случае после цифры, указывающей номер исполнения, ставится тире. У вентиляей с *обратной полярностью* обозначение типа дополняют

буквой Х. Примеры условных обозначений вентиляй согласно ГОСТ 10662—73:

вентиль В, с водяным охлаждением, второго конструктивного исполнения, на предельный ток 1000 А, повторяющееся напряжение 600 В, исполнения У, категории размещения 2:

вентиль ВВ2—1000—6У2;

вентиль В, с воздушным охлаждением, первого конструктивного исполнения, на предельный ток 200 А, обратной полярности, повторяющееся напряжение 1200 В, с прямым падением напряжения от 1,6 до 1,65 В, исполнения У, категории размещения 2:

вентиль В200Х—12—1,60—1,65У2;

вентиль ВЛ, с воздушным охлаждением, первого конструктивного исполнения, на предельный ток 50 А, обратной полярности, повторяющееся напряжение 700 В, исполнения У, категории размещения 2:

вентиль ВЛ50Х—7У2.

В зависимости от значения повторяющегося напряжения вентили В и ВВ делятся на классы, указанные в табл. 10.1 (ГОСТ 10662—73).

Табл. 10.1. Деление вентиляй типа В и ВВ на классы в зависимости от значения напряжения

Класс вентиля	Повторяющееся напряжение, В	Неповторяющееся напряжение, В	Класс вентиля	Повторяющееся напряжение, В	Неповторяющееся напряжение, В
1	100	115	13	1300	1500
1,5	150	175	14	1400	1620
2	200	230	16	1600	1830
2,5	250	290	18	1800	2080
3	300	350	20	2000	2320
4	400	460	22	2200	2560
5	500	580	24	2400	2800
6	600	700	26	2600	3000
7	700	810	28	2800	3240
8	800	930	30	3000	3480
9	900	1040	32	3200	3720
10	1000	1160	34	3400	3950
11	1100	1280	36	3600	4160
12	1200	1400	38	3800	4400

В зависимости от значения повторяющегося напряжения вентили ВЛ и ВЛВ делятся на классы, указанные в табл. 10.2.

Амплитудные значения обратного тока в зависимости от класса вентиля В при повторяющемся напряжении и максимально допустимой температуре электронно-дырочного перехода не должны превышать значений, указанных в табл. 10.3, а для вентиляй ВЛ — в табл. 10.4.

Вентили ВЛ при максимально допустимой температуре электронно-дырочного перехода должны выдерживать в обратном направлении напряжение, равное напряжению лавинообразования,

**Табл. 10.2. Деление вентиляй типа ВЛ и ВЛВ на классы
в зависимости от значения напряжения**

Класс вентиля	Повторяю- щееся напря- жение, В	Напряжение лавинообразова- ния, В, не менее	Класс вентиля	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразова- ния, В, не менее
4	400	500	10	1000	1250
5	500	625	11	1100	1375
6	600	750	12	1200	1500
7	700	875	13	1300	1625
8	800	1000	14	1400	1750
9	900	1125	15	1500	1875

Примечание. Рекомендованное рабочее напряжение не должно превышать значения повторяющегося напряжения.

Табл. 10.3. Значения обратного тока для вентиляй типа В

Тип вентиля	Обратный ток, МА		Тип вентиля	Обратный ток, МА	
	Класс 1 ... 14	Класс 16 ... 38		Класс 1 ... 14	Класс 16 ... 38
B10	8	6	BB320	40	—
B25	12	9	B500	40	40
B50	20	15	BB500	40	—
B200	20	40	B800	40	—
B250	—	40	BB1000	40	—
B320	40	40	BB1250	40	—

Табл. 10.4. Значения обратного тока для вентиляй типа ВЛ

Тип вентиля	ВЛ10	ВЛ25	ВЛ50	ВЛ200	ВЛ320	ВЛВ320	ВЛВ500
Обратный ток, МА	4	8	12	20	20	20	20

Примечание. По заказу потребителей вентили с предельным током 200 А и выше должны отбираться с определенными значениями обратного тока.

Табл. 10.5. Значения энергии импульса для вентиляй типа ВЛ

Тип вентиля	Энергия импульса, Дж	Тип вентиля	Энергия импульса, Дж
ВЛ10	0,20	ВЛ320	1,00
ВЛ25	0,25	ВЛВ320	1,00
ВЛ50	0,40	ВЛВ500	1,00
ВЛ200	1,00		

длительностью 100 мкс, частотой от 0,3 Гц и энергией в импульсе, указанной в табл. 10.5.

Ударный ток и значение $\int i^2 dt$ для 10 мс при максимально допустимой температуре электронно-дырочного перехода без последующего приложения напряжения для вентилях В должны быть не менее указанных в табл. 10.6, а для вентилях ВЛ — в табл. 10.7.

Табл. 10.6. Значения ударного тока для вентилях типа В

Тип вентиля	Ударный ток, А		$\int i^2 dt, A^2 \cdot c$	
	Класс 1 ... 14	Класс 16 ... 38	Класс 1 ... 14	Класс 16 ... 38
В10	350	150	610	112
В25	750	375	2800	700
В50	1500	650	11250	2110
В200, В250	4000	—	80000	—
	6500	6500	211250	211250
В320	5000	—	125000	—
	6500	6500	211250	211250
ВВ320	4000	—	80000	—
В500	8000	—	320000	—
ВВ500	5000	—	125000	—
В800	12000	—	720000	—
ВВ1000	15000	—	1125000	—
ВВ1250	15000	—	1125000	—

Примечание. Для вентилях типов В200, В250 и В320 в первой строке приведены значения ударного тока и $\int i^2 dt$ с паяными контактами, во второй строке — с прижимными контактами.

Табл. 10.7. Значения ударного тока для вентилях типа ВЛ

Тип вентиля	ВЛ10	ВЛ25	ВЛ50	ВЛ200	ВЛ320	ВЛВ320	ВЛВ500
Ударный ток, А	350	750	1500	4000	5000	4000	5000
$\int i^2 dt, A^2 \cdot c$	610	2800	11250	80000	125000	80000	125000

Вентили могут иметь съемные или несъемные охладители. Вентили таблеточной конструкции должны выдерживать многократную сборку с охладителем и разборку.

Сборка вентилях с охладителями должна производиться согласно инструкции по монтажу и эксплуатации вентилях, причем значение закручивающего момента или прижимающего усилия должно соответствовать указанному в паспорте на вентиль или в информационных материалах.

Условное обозначение ограничителей напряжения типа КСОН5 и других расшифровывается следующим образом:

КСОН		—		Кремниевый симметричный ограничитель напряжения
				Конструктивное исполнение (металлостеклянный корпус). Для табличного исполнения цифра не ставится
				Максимальная энергия рассеяния, класс по номинальному напряжению

10.3. Электрические параметры

Электрические параметры вентилях приведены в табл. 10.8. В табл. 10.9 приведены параметры вентилях, выпускавшихся по ГОСТ 10662—69 и выпускаемых по ГОСТ 10662—73. В табл. 10.10 приведены классы по напряжению вентилях, выпускавшихся по ГОСТ 10662—69 и выпускаемых по ГОСТ 10662—73.

Мощные кремниевые вентили находят широкое применение в схемах электрических установок и автоматики. На их основе разрабатываются и созданы бесконтактные реле, коммутирующие и защитные аппараты, статические преобразователи электрической энергии (выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и др.) с высокими технико-экономическими показателями.

Силовые кремниевые вентили характеризуются очень высокой проводимостью в прямом направлении и высоким обратным напряжением, имеют малые габариты и вес, простую конструкцию и высокую эксплуатационную надежность.

Высокочастотные вентили серии ВЧ (Ч — высокочастотный) применяются для работы на частоте до 100 кГц. Они необходимы для высокочастотных генераторов эрозионных станков, ультразвуковых генераторов, в системах возбуждения турбогенераторов и преобразователей частоты и т. п. Частотные свойства силовых кремниевых вентилях определяются емкостью перехода и эффектом накопления носителей заряда.

Область объемного заряда перехода, представляющая собой слой, обедненный носителями заряда, можно рассматривать как слой диэлектрика между двумя проводниками — слоями с электронной и дырочной проводимостями. Емкость этого слоя называют барьерной или зарядной емкостью.

При наличии прямого напряжения на переходе изменяется концентрация инжектированных неосновных носителей заряда. Емкость, обусловленную эффектом накопления зарядов, называют диффузионной емкостью. При обратном смещении перехода диффузионная емкость практически равна нулю. Технологической осо-

Табл. 10.8. Параметры силовых вентиляй

Тип вентиля	Предельный ток, А	Температура корпуса, °С	Неповторяющееся напряжение, В	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В	Прямое падение напряжения при амплитудном значении предельного тока, В, не более
1	2	3	4	5	6	7
B10	10	100	115...1620 1860...4400	100...1400 1600...3800	—	1,35 1,80 1,35
ВЛ10	10	100	—	400...1500	500...1875	—
B12 ¹⁾	12,5	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ12 ¹⁾	12,5	100	—	400...1500	500...1875	—
B16 ¹⁾	16	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ16 ¹⁾	16	100	—	400...1500	500...1875	—
B20 ¹⁾	20	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ20 ¹⁾	20	100	—	400...1500	500...1875	—
			115...1620 1860...4400	100...1400 1600...3800	—	1,35 1,80
B25	25	100	—	400...1500	500...1875	1,35
ВЛ25	25	100	—	400...1500	500...1875	—
B40 ¹⁾	40	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ40 ¹⁾	40	100	—	400...1500	500...1875	—
			115...1620 1860...4400	100...1400 1600...3800	—	1,35 1,80
B50	50	100	—	400...1500	500...1875	1,35
ВЛ50	50	100	—	400...1500	500...1875	—
B63 ¹⁾	63	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ63 ¹⁾	63	100	—	400...1500	500...1875	—
B80 ¹⁾	80	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ80 ¹⁾	80	100	—	400...1500	500...1875	—
B100 ¹⁾	100	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ100 ¹⁾	100	100	—	400...1500	500...1875	—
B125 ¹⁾	125	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ125 ¹⁾	125	100	—	400...1500	500...1875	—
B160 ¹⁾	160	100	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ160 ¹⁾	160	100	—	400...1500	500...1875	—
			115...1620 1860...4400	100...1400 1600...3800	—	1,60 1,85
B200	200	100	—	400...1500	500...1875	1,60
ВЛ200	200	100	—	400...1500	500...1875	—
B250 ¹⁾	250	100	115...1620	100...1400	—	—
B250	250	100	1860...4400	1600...3800	—	1,90
ВЛ250 ¹⁾	250	100	—	400...1500	500...1875	—
			115...1620 1860...4400	100...1400 1600...3800	—	1,60 2,00
B320	320	100	—	400...1500	500...1875	1,60
ВЛ320	320	100	—	400...1500	500...1875	—
B320	320	65	115...1620	100...1400	—	1,70
ВВ320 ¹⁾	320	—	1860...4400	1600...3800	—	—
ВЛВ320	320	65	—	400...1500	500...1875	1,70
B400 ¹⁾	400	—	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ400 ¹⁾	400	—	—	400...1500	500...1875	—
ВВ400 ¹⁾	400	—	115...4400	100...3800	—	—
ВЛВ400 ¹⁾	400	—	—	400...1500	500...1875	—
B500	500	100	115...4400	100...3800	—	2,20
ВЛ500 ¹⁾	500	—	—	400...1500	500...1875	—
ВВ500	500	65	115...1620	100...1400	—	1,80
ВВ500 ¹⁾	500	65	1860...4400	1600...3800	—	—
ВЛВ500	500	65	—	400...1500	500...1875	1,80
B630 ¹⁾	630	—	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ630 ¹⁾	630	—	—	400...1500	500...1875	—

1	2	3	4	5	6	7
ВВ630 ¹⁾	630	—	115...4400	100...3800	—	—
ВЛВ630 ¹⁾	630	—	—	400...1500	500...1875	—
В800	800	100	115...1620	100...1400	—	1,85
В800 ¹⁾	800	100	1860...4400	1600...3800	—	—
ВЛ800 ¹⁾	800	—	—	400...1500	500...1875	—
ВВ800 ¹⁾	800	—	115...4400	100...3800	—	—
ВЛВ800 ¹⁾	800	—	—	400...1500	500...1875	—
В1000 ¹⁾	1000	—	115...4400	100...3800	—	—
ВЛ1000 ¹⁾	1000	—	—	400...1500	500...1875	—
ВВ1000	1000	65	115...1620	100...1400	—	2,20
ВВ1000	1000	65	1860...4400	1600...3800	—	2,00
ВЛВ1000 ¹⁾	1000	—	—	400...1500	500...1875	—
ВВ1250	1250	65	115...1620	100...1400	—	2,00
ВВ1250 ¹⁾	1250	—	1860...4400	1600...3800	—	—
ВВ1600 ¹⁾	1600	—	115...4400	100...3800	—	—

¹⁾ Параметры данных вентилях устанавливаются после внедрения в серийное производство, но не позднее 1978 г.

Табл. 10.9. Таблица соответствия токовых параметров вентилях типов В и ВЛ, выпускавшихся по ГОСТ 10662—69 и выпускаемых по ГОСТ 10662—73

ГОСТ 10662—69					ГОСТ 10662—73			
Тип вентиля	Номинальный ток, А	Группа	Прямое падение напряжения (среднее значение), В	Внутреннее установленное тепловое сопротивление, °C/Вт	Тип вентиля	Предельный ток, А	Температура корпуса, °C	Прямое падение напряжения (амплитудное значение), В
1	2	3	4	5	6	7	8	9
В10	10	А	До 0,5	1,50	В10	10	100	1,07
В10	10	Б	Св. 0,5 до 0,6	1,50	В10	10	100	1,35
В25	25	А	До 0,5	1,00	В25	25	100	1,07
В25	25	Б	Св. 0,5 до 0,6	1,00	В25	25	100	1,35
В50	50	А	До 0,5	0,60	В50	50	100	1,07
В50	50	Б	Св. 0,5 до 0,6	0,60	В50	50	100	1,35
В200	200	А	До 0,5	0,15	В200	200	100	1,07
В200	200	Б	Св. 0,5 до 0,6	0,15	В200	200	100	1,31
В200	200	В	Св. 0,6 до 0,65	0,15	В200	200	100	1,44
В200	200	В	» 0,65 » 0,7	0,15	В200	200 ¹⁾	100	1,60
В320	320	Б	» 0,5 » 0,6	0,12	В320	320 ²⁾	100	1,31
В320	320	В	» 0,6 » 0,7	0,12	В320	320 ²⁾	100	1,60
В320	320	Г	» 0,7 » 0,75	0,12	—	—	—	—
ВВ320	320	Б	Св. 0,5 до 0,6	0,15	ВВ320	320	65	1,31
ВВ320	320	В	» 0,6 » 0,7	0,15	ВВ320	320	65	1,56
ВВ320	320	Г	» 0,7 » 0,75	0,15	ВВ320	320	65	1,70
ВВ500	500	Б	» 0,5 » 0,6	0,12	ВВ500	500 ²⁾	65	1,31
ВВ500	500	В	» 0,6 » 0,7	0,12	ВВ500	500 ²⁾	65	1,56
ВВ500	500	Г	» 0,7 » 0,8	0,12	ВВ500	500 ²⁾	65	1,80

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВЛ10	10	А	До 0,5	1,50	ВЛ10	10	100	1,07
ВЛ10	10	Б	Св. 0,5 до 0,6	1,50	ВЛ10	10	100	1,35
ВЛ25	25	А	До 0,5	1,00	В25	25	100	1,07
ВЛ25	25	Б	Св. 0,5 до 0,6	1,00	В25	25	100	1,35
ВЛ50	50	А	До 0,5	0,60	ВЛ50	50	100	1,07
ВЛ50	50	Б	Св. 0,5 до 0,6	0,60	ВЛ50	50	100	1,35
ВЛ200	200	А	До 0,5	0,15	ВЛ200	200	100	1,07
ВЛ200	200	Б	Св. 0,5 до 0,6	0,15	ВЛ200	200	100	1,31
ВЛ200	200	В	» 0,6 » 0,65	0,15	ВЛ200	200	100	1,44
ВЛ200	200	В	» 0,65 » 0,7	0,15	ВЛ200	200 ¹⁾	100	1,60
ВЛ320	320	Б	» 0,5 » 0,6	0,12	ВЛ320	320 ²⁾	100	1,31
ВЛ320	320	В	» 0,6 » 0,7	0,12	ВЛ320	320 ²⁾	100	1,60
ВЛ320	320	Г	» 0,7 » 0,75	0,12	—	—	—	—
ВЛВ320	320	Б	Св. 0,5 до 0,6	0,15	ВЛВ320	320	65	1,31
ВЛВ320	320	В	» 0,6 » 0,7	0,15	ВЛВ320	320	65	1,56
ВЛВ320	320	Г	» 0,7 » 0,75	0,15	ВЛВ320	320	65	1,70
ВЛВ500	500	Б	» 0,5 » 0,6	0,12	ВЛВ500	500 ²⁾	65	1,31
ВЛВ500	500	В	» 0,6 » 0,7	0,12	ВЛВ500	500 ²⁾	65	1,56
ВЛВ500	500	Г	» 0,7 » 0,8	0,12	ВЛВ500	500 ²⁾	65	1,80

¹ При внутреннем установившемся тепловом сопротивлении 0,09° С/Вт.

² При внутреннем установившемся тепловом сопротивлении 0,135° С/Вт.

Табл. 10.10. Таблица соответствия классов по напряжению вентилях типов В и ВЛ, выпускавшихся по ГОСТ 10662—69 и выпускаемых по ГОСТ 10662—73

ГОСТ 10662—69		ГОСТ 10662—73		
Класс вентиля	Номинальное напряжение, В	Класс вентиля	Повторяющееся напряжение, В	Рекомендуемое рабочее напряжение, В
1	2	3	4	5
1	100	1	100	65
2	200	1,5	150	100
3	300	2	200	135
4	400	2,5	250	170
5	500	3	300	200
6	600	4	400	270
7	700	5	500	335
8	800	6	600	400
9	900	7	700	470
10	1000	8	800	530
11	1100	9	900	600
12	1200	10	1000	670
13	1300	11	1100	740
14	1400	12	1200	800
15	1500	13	1300	870
16	1600	14	1400	940
17	1700	16	1600	1070
18	1800	18	1800	1200
19	1900	20	2000	1340
20	2000	22	2200	1470

1	2	3	4	5
21	2100	24	2400	1600
22	2200	26	2600	1740
23	2300	28	2800	1880
24	2400	30	3000	2000
25	2500	32	3200	2150
		34	3400	2280
		36	3600	2410
		38	3800	2550

бенностью вентилях серии ВЧ является диффузия золота в структуру перехода, уменьшающая время жизни дырок в n -базе и время восстановления запирающей способности, что позволяет снизить на порядок коммутационные перенапряжения и значительно уменьшить параметры защитных RC -цепей.

Основу вентилях ВКЧ составляет кремниевая двухслойная структура, заключенная в керамический или стеклянно-металлический корпус. Корпус из алюмооксидной керамики обеспечивает большие изоляционные расстояния. Анодом вентиля является гибкий медный вывод, катодом является медное основание корпуса, имеющее резьбу для ввинчивания вентиля в силуминовый или медный шестилопастный охладитель.

Параметры высокочастотных вентилях приведены в табл. 10.11.

Табл. 10.11. Параметры высокочастотных вентилях

Термины параметров	ВКЧ-50	ВЧ-100	ВЧ-160	ВЧ-200
Номинальный прямой ток, А	50	100	160	200
Номинальное обратное напряжение, В	100; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000	50; 100; 200	300; 400; 500; 600	600
Падение прямого напряжения, В	1,4	1,2	0,85	0,7
Обратный ток, мА	20	20	20	20
Скорость охлаждающего воздуха, м/с	10	12	12	12

Автотракторные вентили типа ВА-6,3, ВА-10, ВА-16 и ВА-20 предназначены для выпрямления переменного тока частотой 50...1200 Гц в системах электрооборудования автомобилей и тракторов. Вентили имеют корпус с накаткой под запрессовку в крышку генератора переменного тока. Они выпускаются прямой и обратной полярности.

Параметры вентилях приведены в табл. 10.12.

Табл. 10.12. Параметры автотракторных вентиляей

Термины параметров	BA-6,3	BA-10	BA-16	BA-20
Номинальный прямой ток, А	6,3	10	16	20
Предельный ток при температуре на корпусе $+150^{\circ}\text{C}$, А	—	13	—	25
Номинальное обратное напряжение, В	100	100	150	150
Обратный ток, мА	3	3	3	0,66
Падение прямого напряжения, В	0,6	0,6	0,6	0,55
Ударный ток, А:				
из режима ХХ	95	200	240	400
из номинального режима	80	160	200	300
Напряжение, В:				
повторяющееся	150	150	225	225
неповторяющееся	175	225	200	260
Максимально допустимая температура структуры, $^{\circ}\text{C}$	—	190	190	190
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	$-50 \dots +150$	$-50 \dots +150$	$-50 \dots +150$	$-50 \dots +150$

Кремниевые симметричные ограничители напряжения типа КСОН5, КСОН2-5, КСОН10, КСОН2-10 применяются для защиты от коммутационных перенапряжений, а также в качестве разрядников в электротехнической аппаратуре.

Электрические параметры ограничителей напряжения приведены в табл. 10.13 и 10.14.

Табл. 10.13. Электрические параметры ограничителей напряжения

Термины и обозначения параметров	КСОН5, КСОН2-5	КСОН10, КСОН2-10
Номинальная импульсная нагрузка, Дж	5	10
Номинальное напряжение, В	400...2500	1000...2000
Температурный коэффициент напряжения лавинообразования, $\%/^{\circ}\text{C}$:		
типичное значение	0,12	0,12
максимальное значение	0,15	0,15
Ток утечки $I_{\text{ут}}$, мА	1	1
Общее установившееся тепловое сопротивление $R_{\text{г}}$, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ (естественное охлаждение):		
типичное значение	2,8	3,2
максимальное значение	3	3,5
Внутреннее установившееся тепловое сопротивление $R_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$:		
типичное значение	0,5	0,45
максимальное значение	0,65	0,55
Максимально допустимая температура структуры, $^{\circ}\text{C}$	110	110
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	$-50 \dots +40$	$-50 \dots +40$

Табл. 10.14. Параметры ограничителей напряжения

Класс	Номинальное напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В	Класс	Номинальное напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В
4	400	400...499	15	1500	1500...1599
5	500	500...599	16	1600	1600...1699
6	600	600...699	17	1700	1700...1799
7	700	700...799	18	1800	1800...1899
8	800	800...899	19	1900	1900...1999
9	900	900...999	20	2000	2000...2099
10	1000	1000...1099	21	2100	2100...2199
11	1100	1100...1199	22	2200	2200...2299
12	1200	1200...1299	23	2300	2300...2399
13	1300	1300...1399	24	2400	2400...2499
14	1400	1400...1499			

11. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

11.1. Общие сведения

Универсальные (высокочастотные) диоды предназначены для работы в детекторах АМ- и ЧМ-сигналов, а также в выпрямителях малой мощности для питания аппаратуры. К ним относятся: германиевые точечные диоды серий Д2 и Д10...Д14, работающие в диапазоне частот до 150 МГц; диоды серии Д9 с предельной частотой 40 МГц; кремниевые точечные диоды серий Д101... Д103А и Д104... Д106А, допускающие рабочие частоты до 200 и 600 МГц соответственно; кремниевые микросплавные диоды серии Д223, обеспечивающие диапазон частот до 20 МГц.

Импульсные диоды находят применение для целей преобразования импульсных сигналов (в детекторах видеосигналов телевизоров, в ключевых и логических устройствах и др.). К импульсным относятся германиевые точечные диоды серий Д18...Д20, ГД503, германиевые меза-диоды серий Д311 и Д312, кремниевые меза-диоды КД503А и др.

Конструкция *меза-диода* показана на рис. 11.1. На поверхности пластины германия или кремния *n*-типа создают тонкий слой с проводимостью *p*-типа. Затем травлением в кислотной смеси или в перекиси водорода на поверхности пластины получают ряды конусов со слоями проводимости *p*-типа на вершинах. Разрезав пластину на части, получают меза-диоды — приборы с переходами очень малой площади.

Конструкции универсальных и импульсных диодов показаны на рис. 11.2.

Кремниевые диоды серий КД903 и КД904 (матрицы) предназначены для работы в запоминающих устройствах вычислительной техники. Бесконтактные импульсные кремниевые диодные матрицы типа КД904(А...Е), состоящие из 1, 2, 3 или 4 элементов, предназначены для использования в интегрально-гибридных микросхемах с общей герметизацией. Вес матрицы без упаковки не более 0,005 г.

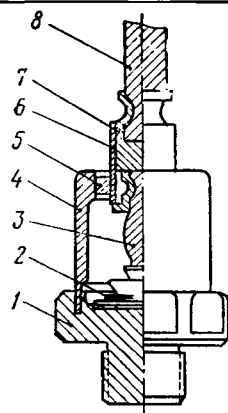


Рис. 10.1. Конструкция кремниевого вентиля большой мощности

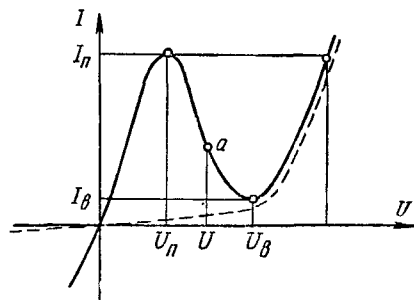


Рис. 12.1. Вольт-амперная характеристика туннельного диода

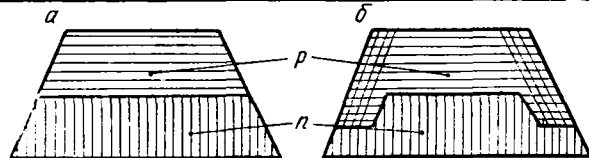


Рис. 10.2. Структура вентиля:
а — обычного; б — лавинного

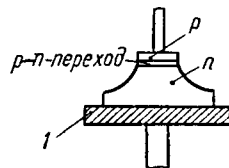


Рис. 11.1. Конструкция меза-диода:
1 — кристаллодержатель

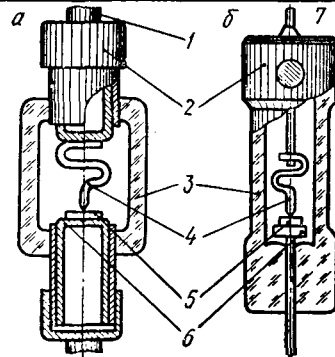


Рис. 11.2. Конструкция диодов:
а — универсальных; б — импульсных; 1 — вывод; 2 — металлический колпачок; 3 — стекло; 4 — проволока; 5 — полупроводник; 6 — кристаллодержатель; 7 — проволоочный вывод

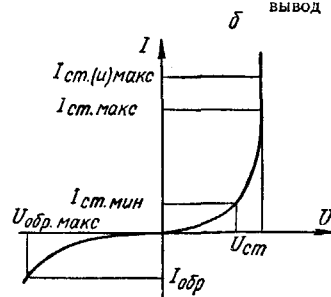
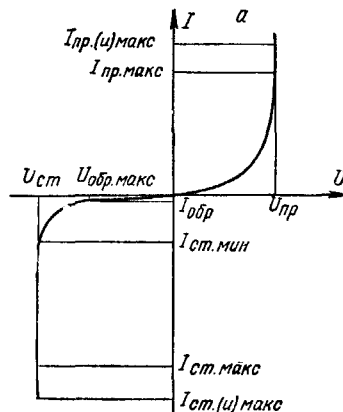


Рис. 13.1. Вольт-амперные характеристики:
а — стабилизатора; б — стабистора

Матрицы каждого индекса отличаются друг от друга лишь числом элементов (диодов): матрица КД904А состоит из одного диода, КД904Б — из двух, КД904В и Д — из трех, КД904Г и Е — из четырех диодов.

11.2. Электрические параметры

Электрические параметры универсальных диодов приведены в табл. 11.1, импульсных — в табл. 11.2, диодных сборок — в табл. 11.3.

Термины и определения параметров приведены в 8.3.

12. ТУННЕЛЬНЫЕ И СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ДИОДЫ

12.1. Туннельные и обращенные диоды

Туннельным называют полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольт-амперных характеристиках при прямом напряжении участка отрицательной дифференциальной проводимости.

Электрические параметры туннельных диодов (термины, определения и буквенные обозначения) установлены ГОСТ 18216—72.

Пиковый ток $I_{\text{п}}$ — прямой ток в точке максимума вольт-амперной характеристики, при котором значение di/du равно нулю.

Ток впадины $I_{\text{в}}$ — прямой ток в точке минимума вольт-амперной характеристики, при котором значение di/du равно нулю.

Отношение токов туннельного диода $I_{\text{п}}/I_{\text{в}}$ — отношение пикового тока к току впадины.

Напряжение пика $U_{\text{п}}$ — прямое напряжение, соответствующее пиковому току.

Напряжение впадины $U_{\text{в}}$ — прямое напряжение, соответствующее току впадины.

Напряжение раствора $U_{\text{рв}}$ — прямое напряжение, большее напряжения впадины, при котором ток равен пиковому.

Емкость корпуса диода $C_{\text{кор}}$ — остаточная емкость между выводами диода при отсутствии $p-n$ -перехода.

Индуктивность диода $L_{\text{д}}$ — полная последовательная эквивалентная индуктивность диода при заданных условиях.

Удельная емкость туннельного диода — $C_{\text{д}}/I_{\text{п}}$ — отношение емкости туннельного диода к пиковому току.

Дифференциальное сопротивление $r_{\text{д}}$ — обратная величина крутизны вольт-амперной характеристики.

Резонансная частота туннельного диода f_0 — расчетная частота, на которой общее реактивное сопротивление $p-n$ -перехода и индуктивности корпуса туннельного диода обращается в нуль.

Предельная резистивная частота f_R — расчетная частота, на которой активная составляющая полного сопротивления последова-

Табл. 11.1. Параметры диодов и диодных сборок универсального назначения

Тип диода	$U_{обр. макс.}$ В	$U_{пр.}$ В	$I_{обр.}$ мкА	C_d пФ	$r_{диф.}$ Ом	$f_{макс.}$ МГц	$I_{пр. макс.}$ мА	$I_{пр. и. макс.}$ мА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д1А	20	—	250	—	—	150	16	—
Д1Б	30	—	250	—	—	150	16	—
Д1В	30	—	250	—	—	150	25	—
Д1Г	50	—	250	—	—	150	16	—
Д1Д	75	—	250	—	—	150	16	—
Д1Е	100	—	250	—	—	150	12	—
Д1Ж	100	—	250	—	—	150	12	—
Д2А	10	—	250	—	—	150	50	—
Д2Б	30	—	100	—	—	150	16	—
Д2В	40	—	250	—	—	150	25	—
Д2Г	75	—	250	—	—	150	16	—
Д2Д	75	—	250	—	—	150	16	—
Д2Е	100	—	250	—	—	150	16	—
Д2Ж	150	—	250	—	—	150	8	—
Д2И	100	—	250	—	—	150	16	—
Д9А	10	—	250	—	—	40	25	—
Д9Б	10	—	250	—	—	40	40	—
Д9В	30	—	250	—	—	40	20	—
Д9Г	30	—	250	—	—	40	30	—
Д9Д	30	—	250	—	—	40	30	—
Д9Е	50	—	250	—	—	40	20	—
Д9Ж	100	—	250	—	—	40	15	—
Д9И	30	—	120	—	—	40	30	—
Д9К	30	—	60	—	—	40	30	—
Д9Л	100	—	250	—	—	40	15	—
Д11	30	—	250	—	—	150	20	—
Д12	50	—	250	—	—	150	20	—
Д12А	50	—	250	—	—	150	20	—
Д13	75	—	250	—	—	150	20	—
Д14	100	—	250	—	—	150	20	—
Д14А	100	—	250	—	—	150	20	—
Д104	100	2	10	0,7	—	600	30	—
Д104А	100	1	10	0,7	—	600	30	—
Д105	75	2	10	0,7	—	600	30	—
Д105А	75	1	10	0,7	—	600	30	—
Д106	30	2	30	0,7	—	600	30	—
Д106А	30	1	30	0,7	—	600	30	—
Д107	10	—	1	—	—	20	3	—
Д107А	10	—	1	—	—	20	3	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д108	30	—	1	—	—	20	3	—
Д109	50	—	0,1	—	—	20	3	—
Д223	50	—	0,1	—	—	20	50	—
Д223А	100	—	0,5	—	—	20	50	—
Д223Б	150	—	0,7	—	—	20	50	—
ГД402А	15	—	100	0,8	4,5	—	30	100
ГД402Б	15	—	100	0,5	6	—	30	100
Г1Д402А	15	—	50	0,8	4,5	—	30	100
Г1Д402Б	15	—	50	0,5	6	—	30	100
ГД404АР	3	0,4	—	—	—	—	20	—
КД407А	24	1	0,5	1	1	—	50	500
КД409А	24	1	0,5	2	1	—	50	500
ГД403А	5	—	—	—	—	—	5	—
ГД403Б	5	—	—	—	—	—	5	—
ГД403В	5	—	—	—	—	—	5	—
2ДС408А ²	12	0,5...0,73 0,73...0,83	0,01	1,3	—	—	10(20) ¹	100
2ДС408Б ²	12	0,5...0,73 0,73...0,83	0,1	1,3	—	—	10(20) ¹	100

¹ Суммарный прямой ток; ² $t_{\text{вос}}=40$ нс.

Табл. 11.2. Параметры импульсных диодов

Тип диода	$U_{\text{обр, макс.}}$ ($U_{\text{обр, и, макс.}}$), В	$t_{\text{вос}} (Q_{\text{пк}})$, нс(пК)	C_d , пФ	$U_{\text{пр}}$, В	$I_{\text{обр}}$, мкА	$U_{\text{пр}}$, В	$I_{\text{пр, макс.}}$, мА	$I_{\text{пр, и, макс.}}$, мА	Интервал рабочих температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Д18	(20)	100	0,5	1	50	5	16	50	-40...+60
Д20	(20)	—	—	1	100	—	16	—	-40...+60
Д310	20	300	15	0,6	20	2,4	500	800	-60...+70
Д311	30	50	1,5	0,4	100	1	40	500	-60...+70
Д311А	30	50	3	0,4	100	1,25	120	100	-60...+70
Д312	100	500	3	0,5	100	1,25	50	500	-60...+70
Д312А	75	500	3	0,5	100	1,25	50	500	-40...+60
ГД507А	20 (30)	100	0,8	0,5	50	4	16	100	-40...+60
ГД508А	8 (10)	(20)	0,75	0,7	60	1,5	10	30	-40...+55
ГД508Б	8 (10)	(20)	0,75	0,65	100	1,5	10	30	-40...+55
ГД511А	12	(100)	1	0,6	50	0,6	15	50	-60...+70
ГД511Б	12	(40)	1	0,6	100	0,6	15	50	-60...+70
ГД511В	12	(100)	1	0,6	100	0,6	15	50	-60...+70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Д219А	(70)	500	15	1	1	2,5	50	500	—55...+100
Д220	(50)	500	15	1,5	1	3,75	50	500	—55...+100
Д220А	(70)	500	15	1,5	1	3,75	50	500	—55...+100
Д220Б	(100)	500	15	1,5	1	3,75	50	500	—55...+100
КД103А	50	4000	20	1	1	5	100	2000	—60...+100
КД103Б	50	4000	20	1,2	1	5	100	2000	—60...+100
2ДМ502А	30	500	20	1	5	3,5	20	300	—60...+85
2ДМ502Б	30	500	20	1	5	2,5	20	300	—60...+85
2ДМ502В	100	500	20	1	5	3,5	20	300	—60...+85
2ДМ502Г	100	500	20	1	5	2,5	20	300	—60...+85
КД503А	30	10	5	1	10	2,5	20	200	—40...+85
КД503Б	30	10	2,5	1	10	3,5	20	200	—40...+85
КД503В	(10)	50	6	1,3	1	—	10	200	0...+70
КД509А	50(70)	4(400)	4	1,1	5	—	100	1500	—55...+85
КД510А	50(70)	4(400)	4	1,1	5	—	200	1500	—60...+85
КД512А	15	1(30)	1	1	5	—	20	200	—40...+100
КД513А	50(70)	4(400)	4	1,1	5	—	100	1500	—60...+85
КД514А	10	—	0,9	1	5	—	10	50	—10...+100
КД518А	—	—	—	0,57	—	—	100	1500	—60...+85
КД520А	15(25)	4(100)	3	1	1	2	20	50	—60...+100
КД521А	75(80)	4(200)	10	1	1	1,75	50	500	—60...+125
КД521Б	60(35)	4(200)	10	1	1	1,75	50	500	—60...+125
КД521В	50(55)	4(200)	10	1	1	1,75	50	500	—60...+125
КД521Г	30(35)	4(200)	10	1	1	1,75	50	500	—60...+125
КД521Д	12(15)	4(200)	10	1	1	1,75	50	500	—60...+125
КД522А	30(40)	4(400)	4	1,1	2	—	100	1500	—55...+85
КД522Б	50(60)	4(400)	4	1,1	5	—	100	1500	—55...+85
2Д524А	24	(250)	3	1	2	—	40	400	—60...+125
2Д524Б	30	(300)	2,5	1	2	—	40	400	—60...+125
2Д524В	15	(300)	4	1	2	—	40	400	—60...+125
АД516А	10	(5)	0,5	—	2	—	2	30	—60...+100
АД516Б	10	(5)	0,35	—	2	—	2	30	—60...+100

Табл. 11.3. Параметры импульсных диодных сборок

Тип диода	$U_{обр. макс.}$ ($U_{обр. н. макс.}$), В	$t_{вос} (Q_{пк})$, нс (пк)	$U_{пр. 1}$, В	$U_{пр. 2}$, В	$I_{обр.}$, мкА	C_d , пФ	$I_{пр. макс.}$, мА	$I_{пр. н. макс.}$, мА	Число элементов	Интервал рабочих температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КД901А	10	20	0,4	0,7	0,2	4	5	—	1	—60...+85
КД901Б	10	20	0,4	0,7	0,2	4	5	—	2	—60...+85
КД901В	10	20	0,4	0,7	0,2	4	5	—	3	—60...+85
КД901Г	10	20	0,4	0,7	0,2	4	5	—	4	—60...+85
КД903А	20	150	1,2	—	0,5	10	75	350	8	—60...+70
КД903Б	20	150	1,2	—	0,5	10	75	350	8	—60...+70
КД904А	10(12)	10	0,45	0,8	0,2	2	5	100	1	—60...+85
КД904Б	10(12)	10	0,45	0,8	0,2	2	5	100	2	—60...+85
КД904В	10(12)	10	0,45	0,8	0,2	2	5	100	3	—60...+85
КД904Г	10(12)	10	0,45	0,8	0,2	2	5	100	4	—60...+85
КД904Д	10(12)	10	0,45	0,8	0,2	2	5	100	3	—60...+85
КД904Е	10(12)	10	0,45	0,8	0,2	2	5	100	4	—60...+85
КД906А	75(100)	2000	1	—	2	20	100	2000	4	—55...+85
КД906Б	50(75)	2000	1	—	2	20	100	2000	4	—55...+85
КД906В	30(75)	2000	1	—	2	20	100	2000	4	—55...+85
КД906Г	75(100)	2000	1	—	2	40	100	2000	4	—55...+85
КД906Д	50(75)	2000	1	—	2	40	100	2000	4	—55...+85
КД906Е	30(75)	2000	1	—	2	40	100	2000	4	—55...+85
КД907А	40(60)	4(400)	1	—	6	4	50	700	1	—60...+85
КД907Б	40(60)	4(400)	1	—	6	4	50	700	2	—60...+85
КД907В	40(60)	4(400)	1	—	6	4	50	700	3	—60...+85
КД907Г	40(60)	4(400)	1	—	6	4	50	700	4	—60...+85
КД908А	40(60)	6(400)	1,2	—	5	5	200	1500	8	—60...+85
КД909А	40	70	1,2	—	10	5	200	1500	8	—60...+85
КД910А	5	5	0,5	0,8	0,5	1,5	10	—	1	—60...+85
КД910Б	5	5	0,5	0,8	0,5	1,5	10	—	2	—60...+85
КД910В	5	5	0,5	0,8	0,5	1,5	10	—	3	—60...+85
КД911А	5	30	0,62	0,85	0,5	—	10	—	1,2,3	—40...+85
КД911Б	5	80	0,55	0,85	0,5	—	10	—	1,2,3	—40...+85
КД912А	5	5	0,5	0,8	0,2	1,8	3,5	10	—	—60...+85
КД912Б	5	30	0,62	0,85	0,2	—	3,5	10	3	—60...+85
КД912В	5	80	0,55	0,85	0,2	—	3,5	10	1	—60...+85
КД913А	10	10	0,4	0,7	0,2	4	5	200	3	—60...+85
КД914А	20	5	1	0,55	1	5	20	50	4	—55...+85
КД914Б	20	5	1	0,55	1	5	20	50	2	—55...+85
КД914В	20	5	1	0,55	1	5	20	50	3	—55...+85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КД917А	40(60)	10(1000)	1,2	—	5	6	200	1500	8	—60...+85
КД918А	40(60)	4(850)	1	—	6	6	50	700	1	—60...+85
КД918Б	40(60)	4(850)	1	—	6	6	50	700	2	—60...+85
КД918В	40(60)	4(850)	1	—	6	6	50	700	3	—60...+85
КД918Г	40(60)	4(850)	1	—	6	6	50	700	4	—60...+85
КД919А	40(40)	100	0,85... 1,35	—	1	6	100	700	16	—60...+85
КД920А	40(40)	100	0,9...1,5	—	1	6	100	700	16	—60...+85
КДС523А	50(70)	4(150)	1	—	5	2	20	200	2	—60...+100
КДС523Б	50(70)	4(150)	1	—	5	2	20	200	2	—60...+100
КДС523В	50(70)	4(150)	1	—	5	2	20	200	4	—60...+100
КДС523Г	50(70)	4(150)	1	—	5	2	20	200	4	—60...+100
КДС525А	15(20)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	10	—40...+85
КДС525Б	15(20)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	10	—40...+85
КДС525В	15(20)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	8	—40...+85
КДС525Г	15(20)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	8	—40...+85
КДС525Д	15(20)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	8	—40...+85
КДС525Е	25(40)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	10	—40...+85
КДС525Ж	25(40)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	10	—40...+85
КДС525И	25(40)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	8	—40...+85
КДС525К	25(40)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	8	—40...+85
КДС525Л	25(40)	5	0,5; 0,9	—	1	8	20	200	8	—40...+85
КДС526А	(15)	5	0,55; 1,1	—	1	5	20	50	4	—40...+85
КДС526Б	(15)	5	0,55; 1,1	—	1	5	20	50	3	—40...+85
КДС526В	(15)	5	0,55; 1,1	—	1	5	20	50	2	—40...+85

тельной цепи, состоящей из p — n -перехода и сопротивления потерь, обращается в нуль.

Шумовая постоянная туннельного диода $K_{ш}$ — величина, определяющая коэффициент шума диода.

Энергия импульсов туннельного диода $W_{п}$ — максимально допустимая энергия коротких импульсов тока, воздействующих на туннельный диод в пропускном направлении, при которой обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый постоянный прямой ток туннельного диода $I_{пр, макс}$ — максимальное значение постоянного прямого тока на второй восходящей ветви вольт-амперной характеристики, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый импульсный прямой ток $I_{пр, и, макс}$ — максимальное значение импульсного прямого тока при заданной скважности и длительности импульсов, при котором обеспечивается заданная надежность.

Сопротивление потерь туннельного диода $r_{п}$ — суммарное активное сопротивление кристалла, контактных присоединений и выводов.

Максимально допустимый постоянный обратный ток $I_{\text{обр. макс}}$ — максимальное значение постоянного обратного тока, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимая рассеиваемая СВЧ мощность диода $P_{\text{СВЧ макс}}$ — максимальная СВЧ мощность, рассеиваемая диодом, при которой обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимая импульсная СВЧ мощность диода $P_{\text{СВЧ, и. макс}}$ — максимальная импульсная СВЧ мощность, рассеиваемая диодом, при которой обеспечивается заданная надежность.

Электрические параметры и характеристики для классификационных групп туннельных диодов приведены в табл. 12.1.

Табл. 12.1. Параметры и характеристики для классификационных групп туннельных диодов

Группы диодов	Перечень электрических параметров	Характеристики зависимости электрических параметров
Усилительные диоды	$I_{\Pi}; I_{\Pi} / I_{\text{В}}; r_{\Pi}; C_{\text{д}}; W_{\text{и}}^1;$ $P_{\text{СВЧ макс}}; P_{\text{СВЧ и, макс}};$ $g_{\text{пер, макс}}; fR; C_{\text{сор}};$ $L_{\text{д}}; k_{\text{М}}$	$I = f(U); I_{\Pi} = f(t); I_{\text{В}} = f(t);$ $g_{\text{пер}} = f(U)^1$
Генераторные диоды	$I_{\Pi}; I_{\Pi} / I_{\text{В}}; U_{\Pi}; r_{\Pi}; L_{\text{д}};$ $C_{\text{д}}; C_{\text{кор}}; g_{\text{пер, макс}}^1$	$I = f(U); I_{\Pi} = f(t);$ $I_{\text{В}} = f(t)$
Переключательные диоды	$I_{\Pi}; I_{\Pi} / I_{\text{В}}; U_{\Pi}; U_{\text{пр}};$ $C_{\text{д}}; C_{\text{кор}}; I_{\text{пр, макс}};$ $I_{\text{пр, и, макс}}; I_{\text{обр, макс}}$	$I = f(U)^2$ на восходящих участках вольт-амперной характеристики $I_{\Pi} = f(t);$ $I_{\text{В}} = f(t); U_{\text{пр}} = f(t);$ $I_{\text{пр, и, макс}} = f(\tau_{\text{и}})$
Обращенные диоды (кроме смесителей и детекторов СВЧ сигнала)	$U_{\text{пр}}; U_{\text{обр}}; C_{\text{д}}; C_{\text{кор}};$ $I_{\Pi}; r_{\Pi}; I_{\text{пр, макс}};$ $I_{\text{пр, и, макс}}; I_{\text{обр, макс}}$	$I_{\Pi} = f(t); I = f(U, t);$ $I_{\text{пр, и, макс}} = f(\tau_{\text{и}})$

¹ Допускается приводить в форме расчетного соотношения.

² Обязательно включается во все виды технической документации.

В основе работы туннельного диода лежит *туннельный эффект*. Он заключается в том, что электрон при определенных условиях может, не затрачивая энергии, пройти сквозь потенциальный барьер, как по туннелю. Чтобы получить туннельный эффект в полупроводниковых диодах, необходимо повысить равновесную разность потенциалов перехода и сделать очень узким запирающий слой. Этим требованиям можно удовлетворить одновременно, если повысить концентрацию электронов и дырок по обе стороны от p — n -перехода. В германиевых диодах туннельный эффект проявляется при концентрации электронов и дырок, достигающей $10^{19} \dots 10^{20} \text{ 1/см}^3$ (у обычных полупроводниковых диодов она обычно составляет $10^{14} \dots 10^{16} \text{ 1/см}^3$). Такие полупроводники называют вырожденными — их свойства очень близки к металлам. Ширина запирающего слоя в

этом случае имеет порядок 10^{-6} см, т. е. на два порядка меньше, чем у обычных диодов. Контактная разность потенциалов перехода (при отсутствии внешнего напряжения) составляет 0,6...0,7 В, а напряженность поля в запирающем слое, создаваемого этой разностью потенциалов, достигает порядка $(5...7) \cdot 10^5$ В/см (контактная разность потенциалов обычных диодов составляет 0,2...0,3 В). Через такой узкий переход даже без внешнего поля уже должен протекать значительный туннельный ток. Однако в туннельном диоде при отсутствии внешнего напряжения суммарный туннельный ток во внешней цепи будет равен нулю, так как в переходе будет протекать ток не только из p -области в n -область, но и ток n -области в p -область. Такое равновесие будет продолжаться до тех пор, пока одна из составляющих токов не будет изменена. Если подключить батарею положительным полюсом к p -области, а отрицательным к n -области (прямое смещение перехода), то поток электронов из n -области в p -область увеличится, а из p -области в n -область — уменьшится.

В вырожденных полупроводниках донорные уровни расщепляются в зону, перекрывающуюся с зоной проводимости, а акцепторные уровни расщепляются в зону, перекрывающуюся с валентной зоной. При этом ширина запрещенной зоны несколько уменьшается, а контактная разность потенциалов оказывается сравнительно большой, близкой к ширине запрещенной зоны. Вследствие этих причин напряженность поля в переходе туннельного диода очень велика и создается возможность беспрепятственного перехода электронов по туннелю из n -области в p -область благодаря их волновым свойствам.

На рис. 12.1 для сравнения показаны две вольт-амперные характеристики: обычного полупроводникового диода (пунктир) и туннельного (сплошная линия). Как видно, ток туннельного диода при небольших напряжениях в прямом и обратном направлениях растет очень резко. Это связано с тем, что при туннельном переходе электрон не расходует своей энергии и поэтому может совершать его при температуре, близкой к абсолютному нулю. Этим обстоятельством и объясняется способность туннельных диодов работать в гораздо более широком диапазоне температур, чем обычные диоды.

Туннельный ток в прямом направлении достигает некоторого максимального значения I_n при напряжении U_n и затем начинает резко уменьшаться до значения, равного I_p . Это связано с тем, что при увеличении напряжения в прямом направлении уменьшается число электронов, способных совершить туннельный переход.

Восходящие ветви характеристик для обычного и туннельного диодов совпадают после достижения напряжением значения U_v (напряжения впадины). При этом напряжении механизм прохождения электронов через переход в туннельном и обычных диодах оказывается одинаковым и связан с тепловым перебросом электронов через потенциальный барьер.

В интервале напряжений от U_n до U_v характеристика имеет падающий участок. С ростом напряжения ток падает, что указывает на наличие отрицательного дифференциального сопротивления.

Этот участок характеристики и является наиболее ценным при использовании туннельных диодов в схемах.

Отрицательное дифференциальное сопротивление позволяет компенсировать потери, вносимые в схему положительным сопротивлением, и, таким образом, в зависимости от поставленной задачи осуществить схему усилителя, генератора или преобразователя колебаний. В точке перегиба характеристики α , соответствующей напряжению U_v , дифференциальное сопротивление минимально. Оно колеблется от сотых долей Ома до сотен Ом.

В обратном направлении ток обычного диода чрезвычайно мал, поэтому его обратное сопротивление очень велико и достигает нескольких мегаом. У туннельного же диода обратный ток уже при напряжениях порядка десятых долей вольта достигает нескольких десятков миллиампер. Поэтому его сопротивление в обратном направлении составляет всего несколько единиц или десятков Ом.

Параметры туннельных диодов показаны на вольт-амперной характеристике их. Напряжение U для туннельных диодов на основе германия обычно лежит в интервале от 60 до 100 мВ. Ток I_{II} в зависимости от назначения диода может колебаться от сотен микроампер до сотен миллиампер (иногда несколько ампер). Ток I_v у германиевых туннельных диодов обычно составляет 0,1...1,0 мА.

Наиболее характерным параметром, с помощью которого можно оценить качество диода, является отношение токов I_{II}/I_v . Для германиевых диодов оно равно 3...6 ($U_{II} = 40...60$ мВ, $U_v = 250...350$ мВ). Для диодов из арсенида галлия $I_{II}/I_v \geq 10$ ($U_{II} = 100...150$ мВ; $U_v = 400...500$ мВ).

Туннельные диоды на основе кремния уступают по своим свойствам диодам на основе германия и арсенида галлия и поэтому используются реже.

Мощность, потребляемая туннельным диодом от батарей смещения, примерно в десять раз меньше мощности источника питания аналогичной схемы на транзисторе и в несколько тысяч раз меньше мощности, потребляемой лампой. Однако в настоящее время это преимущество нельзя полностью использовать, так как для питания схем с туннельными диодами применяют стандартные элементы с напряжением в 1,5...2,2 В, а излишек напряжения гасят на балластном резисторе.

Основное отличие туннельных диодов от ламп и транзисторов с точки зрения применения в схемах состоит в том, что они являются двухполюсниками, т. е. имеют только две клеммы.

Основным преимуществом туннельного диода перед известными полупроводниковыми приборами является его чрезвычайно высокая граничная частота, до которой он может быть использован в различных радиотехнических устройствах. Эта особенность туннельного диода связана с механизмом прохождения электрона через узкий туннельный p — n -переход со скоростью, близкой к скорости света. Время перехода составляет $10^{-13}...10^{-14}$ с.

Туннельный диод является прибором практически безынерционным. Частотный предел применимости туннельного диода ограничи-

вается лишь наличием таких параметров, как емкость перехода и сопротивление потерь, обусловленное объемным сопротивлением материала и выводящих проводников, а также паразитной индуктивностью выводов.

Эти параметры присущи любому туннельному диоду, и поэтому создание более высокочастотных образцов сводится в основном к разработке наиболее совершенной конструкции и поискам соответствующих полупроводниковых материалов, использование которых позволило бы свести к минимуму указанные величины.

Туннельные диоды способны усиливать, генерировать и преобразовывать электромагнитные колебания до нескольких сот тысяч мегагерц, что соответствует миллиметровому диапазону радиоволн. Их усилительные свойства сохраняются в интервале температур от -200° до $+400^{\circ}$ С. Усилители, выполненные на туннельных диодах, обладают очень высоким коэффициентом усиления и сравнительно низким уровнем шумов. Применяя их, можно создать высоконадежные вычислительные машины с большой скоростью счета.

К указанным достоинствам туннельных диодов необходимо добавить, что они практически нечувствительны к ядерной радиации, имеют малые размеры, ничтожный вес и потребляют в несколько раз меньше энергии, чем самые экономичные электронные и полупроводниковые приборы.

Типичными туннельными диодами являются: на основе германия ГИ302 (А...Г), ГИ305 (А...Б), ГИ304 (А...Б); на основе арсенида галлия АИ301 (А...Г), АИ101 (А...Н), АИ201 (А...Л) и др.

Параметры туннельных диодов приведены в табл. 12.2.

К туннельным относятся также и обращенные диоды.

Обращенным называют полупроводниковый диод на основе полупроводника с критической концентрацией примеси, в котором проводимость при обратном напряжении значительно больше, чем при прямом напряжении вследствие туннельного эффекта. Обращенные диоды отличаются от стабилитронов более высокой концентрацией носителей заряда. Напряженность электрического поля в $p-n$ -переходе оказывается настолько высокой, что лавинный пробой начинается уже при обратных напряжениях в несколько десятков милливольт. В результате обратная ветвь характеристики (см. рис. 13.1, а) оказывается аналогичной прямой ветви обычного диода. Проводимость диода при малых обратных напряжениях оказывается много большей, чем в прямом направлении. Поэтому они и получили название обращенных диодов, так как в качестве проводящей в них используется обратная ветвь вольт-амперной характеристики.

Обращенные диоды находят применение в вычислительных устройствах, смесителях и детекторах. Достоинством обращенных диодов является очень малое рабочее напряжение и как следствие высокая экономичность. По конструкции обращенные диоды аналогичны туннельным.

Электрические параметры обращенных диодов приведены в табл. 12.3.

Табл. 12.2. Параметры туннельных диодов

Тип диода	$I_{\text{п}}, \text{мА}$	$C_{\text{д}}, \text{пФ}$	$I_{\text{п}} / I_{\text{в}}$	$U_{\text{п}}, \text{мВ}$	$U_{\text{в}}, \text{мВ}$	$r_{\text{д}} (r_{\text{п}}), \text{Ом}$	$U_{\text{пр, макс}} (U_{\text{обр, макс}}), \text{В}$	$I_{\text{пр, макс}} (I_{\text{пр, и, макс}}), \text{мА}$	$I_{\text{обр, макс}} (I_{\text{обр, и, макс}}), \text{мА}$	$P_{\text{СВЧ и, макс.}} \text{мВт}$
АИ101А	1	4	5	160	—	24	0,35	—	—	—
АИ101Б	1	2 ... 8	5	160	—	22	0,35	—	—	—
АИ101В	2	5	6	160	—	16	0,35	—	—	—
АИ101Д	2	2,5 ... 10	6	160	—	14	0,35	—	—	—
АИ101Е	5	8	6	180	—	8	0,35	—	—	—
АИ101И	5	4,5 ... 13	6	180	—	7	0,35	—	—	—
ИИ102А	1,5	0,9 ... 1,8	5	70 ... 100	320 ... 400	75 ... 110	—	3	3	—
ИИ102Б	1,5	1,4 ... 2,2	5	70 ... 100	320 ... 400	75 ... 110	—	3	3	—
ИИ102В	1,5	1,8 ... 3	5	70 ... 100	320 ... 400	75 ... 110	—	3	3	—
ИИ102Г	2	1 ... 2	5	90	320 ... 400	60 ... 80	—	4	4	—
ИИ102Д	2	1,6 ... 2,6	5	90	320 ... 400	60 ... 80	—	4	4	—
ИИ102Е	2	2,2 ... 3,2	5	90	320 ... 400	60 ... 80	—	4	4	—
ИИ102Ж	2,7	1,2 ... 2,2	5	70 ... 90	320 ... 400	45 ... 60	—	5,4	5,4	—
ИИ102И	2,7	1,8 ... 2,7	5	70 ... 90	320 ... 400	45 ... 60	—	5,4	5,4	—
ИИ102К	2,7	2,3 ... 3,5	5	70 ... 90	320 ... 400	45 ... 60	—	5,4	5,4	—
ГИ103А	1,5	1 ... 2,1	4	90	—	6	0,4(0,02)	1,5	1,5	200
ГИ103Б	1,5	0,8 ... 1,6	4	90	—	6	0,4(0,02)	1,5	1,5	150
ГИ103В	1,5	0,7 ... 1,3	4	90	—	7	0,4(0,02)	1,5	1,5	100
ГИ103Г	1,7	1 ... 3,2	4	90	—	6	0,4(0,02)	1,5	1,5	250
ИИ104А	1,5	0,8 ... 1,9	4	90	—	(6)	0,4(0,02)	1,5	1,5	200
ИИ104Б	1,5	0,6 ... 1,4	4	90	—	(6)	0,4(0,02)	1,5	1,5	150
ИИ104В	1,5	0,5 ... 1,1	4	90	—	(7)	0,4(0,02)	1,5	1,5	100
ИИ104Г	1,5	0,45 ... 1	4	100	—	(7)	0,4(0,02)	1,5	1,5	50
ИИ104Д	1,5	0,4 ... 0,9	4	100	—	(7)	0,4(0,02)	0,75	1,5	40
ИИ104Е	1,5	0,4 ... 0,8	4	100	—	(8)	0,4(0,02)	0,75	1,5	30

Тип диода	$I_{п.}$ мА	$C_{д.}$ пФ	$I_{п.}/I_{в.}$	$U_{п.}$ мВ	$U_{в.}$ мВ	$r_{д.}$ ($r_{п.}$) Ом	$U_{пр. макс.}$ ($U_{обр. макс.}$) В	$I_{пр. макс.}$ ($I_{пр. н. макс.}$) мА	$I_{обр. макс.}$ ($I_{обр. н. макс.}$) мА	$P_{свч. н. макс.}$ мВт
АИ201А	10	8	10	180	—	8	0,4	—	—	—
АИ201В	10	5 ... 15	10	180	—	8	0,4	—	—	—
АИ201Г	20	10	10	200	—	5	0,45	—	—	—
АИ201Е	20	6 ... 20	10	200	—	4	0,45	—	—	—
АИ201Ж	50	15	10	260	—	2,5	0,45	—	—	—
АИ201И	50	10 ... 30	10	260	—	2,5	0,45	—	—	—
АИ201К	100	20	10	330	—	2,2	0,5	—	—	—
АИ201Л	100	10 ... 50	10	330	—	2,2	0,5	—	—	—
ЗИ202А	10	3	10	200	—	5	0,4	—	20	—
ЗИ202Б	10	1,5 ... 3	10	200	—	4	0,4	—	20	—
ЗИ202В	10	2,3 ... 4,8	10	200	—	4	0,4	—	20	—
ЗИ202Г	20	4	10	220	—	4	0,45	—	40	—
ЗИ202Д	20	2 ... 4	10	220	—	3	0,45	—	40	—
ЗИ202Е	20	3 ... 6	10	220	—	3	0,45	—	40	—
ЗИ202Ж	30	5	10	240	—	3	0,45	—	60	—
ЗИ202И	30	4 ... 8	10	240	—	3	0,45	—	60	—
ЗИ202К	50	10	10	260	—	2	0,45	—	100	—
АИ301А	2	12	8	180	—	—	—	1	—	—
АИ301Б	5	25	8	180	—	—	—	2,5	—	—
АИ301В	5	25	8	180	—	—	—	2,5	—	—
АИ301Г	10	50	8	180	—	—	—	5	—	—
ГИ304А	4,8	20	5	75	—	—	—	10	10	—
ГИ304Б	5,2	20	5	75	—	—	—	10	10	—
ГИ305А	9,6	30	5	85	—	—	—	20	20	—
ГИ305Б	10,4	30	5	85	—	—	—	20	20	—

Продолжение табл. 12.2

Тип диода	$I_{\text{п}}, \text{мА}$	$C_{\text{д}}, \text{пФ}$	$I_{\text{п}} / I_{\text{в}}$	$U_{\text{п}}, \text{мВ}$	$U_{\text{в}}, \text{мВ}$	$r_{\text{д}} (r_{\text{п}}), \text{Ом}$	$U_{\text{пр. макс}} (U_{\text{обр. макс}}), \text{В}$	$I_{\text{пр. макс}} (I_{\text{пр. и. макс}}), \text{мА}$	$I_{\text{обр. макс}} (I_{\text{обр. и. макс}}), \text{мА}$	$P_{\text{свч. и макс.}}, \text{мВт}$
ЗИ306Г	2	8	8	170	—	—	—	0,8	4	—
ЗИ306Е	2	4 ... 12	8	170	—	—	—	1,8	4	—
ЗИ306Ж	5	15	8	170	—	—	—	2(2)	10	—
ЗИ306К	5	8 ... 25	8	170	—	—	—	4,5	10	—
ЗИ306Л	10	12	8	170	—	—	—	4(4)	20	—
ЗИ306М	10	30	8	170	—	—	—	4(4)	20	—
ЗИ306Н	10	15 ... 50	8	170	—	—	—	9(12)	20	—
ГИ307А	2	20	7	70	—	—	—	4	4	—
ИИ308А	5	1,5 ... 5	5	100	—	—	—	6	9	—
ИИ308Б	5	0,7 ... 2	5	110	—	—	—	4	6	—
ИИ308В	10	4 ... 10	5	110	—	—	—	20	30	—
ИИ308Г	10	1,5 ... 5	5	120	—	—	—	15(30)	22,5(45)	—
ИИ308Д	10	0,8 ... 2	5	130	—	—	—	6(10)	9(15)	—
ИИ308Е	20	3 ... 15	5	140	—	—	—	20(40)	30(60)	—
ИИ308Ж	20	1 ... 4	5	160	—	—	—	8(18)	12(27)	—
ИИ308И	50	5 ... 20	5	150	—	—	—	40(75)	60(112,5)	—
ИИ308К	50	2,3 ... 8	5	180	—	—	—	20(45)	30(67,5)	—

Табл. 12.3. Параметры туннельных обращенных диодов

Тип диода	$I_{п}$, мА	C_d , пФ	$r_{п}$, Ом	$U_{пр}$, В	$U_{обр}$, В	$I_{пр, макс}$ ($I_{пр, и, макс}$), мА	$I_{обр, макс}$ ($I_{обр, и, макс}$), мА	Диапазон рабочих температур, °C
ГИ401А	—	2,5	—	0,33	0,09	0,3	4	—55 ... +70
ГИ401Б	—	5	—	0,33	0,09	0,5	5,6	—55 ... +70
АИ402Б	0,1	4	—	0,6	0,25	0,05	1	—60 ... +85
АИ402Г	0,1	8	—	0,6	0,25	0,05	1	—60 ... +85
АИ402Е	0,2	8	—	0,6	0,25	0,05	2	—60 ... +85
АИ402И	0,4	10	—	0,6	0,25	0,05	4	—60 ... +85
ЗИ402А	—	2	18	0,6	0,25	0,05	2	—60 ... +100
ЗИ402Б	—	1,5 ... 3,5	16	0,6	0,25	0,05	2	—60 ... +100
ЗИ402В	—	2,7 ... 5	14	0,6	0,25	0,1	2	—60 ... +100
ЗИ402Г	—	6	—	0,6	0,25	0,05	2	—60 ... +100
ЗИ402Д	—	3,5	—	0,6	0,25	0,05	4	—60 ... +100
ЗИ402Е	—	2 ... 6	—	0,6	0,25	0,1	4	—60 ... +100
ЗИ402И	—	6	—	0,6	0,25	0,05	8	—60 ... +100
ГИ403А	0,15	8	—	0,35	0,12	(10)	(10)	—40 ... +60
ИИ403А	0,1	8	—	0,35	0,12	(14)	(10)	—60 ... +70

Примечание. Определения параметров C_d , $U_{пр}$, $U_{обр}$, $I_{пр, макс}$ ($I_{пр, и, макс}$) см. в 8.3.

12.2. Сверхвысокочастотные диоды

По функциональному признаку различают сверхвысокочастотные (СВЧ) полупроводниковые диоды: смесительные, детекторные, умножительные, параметрические, переключательные, ограничительные, а также генераторные лавинно-пролетные диоды (ЛПД) и диоды Ганна.

Смесительным полупроводниковым диодом называют преобразовательный полупроводниковый диод, используемый для преобразования сверхвысокочастотного сигнала и сигнала гетеродина в сигнал промежуточной частоты.

Детекторным полупроводниковым диодом называют полупроводниковый диод, предназначенный для детектирования.

Умножительным полупроводниковым диодом называют преобразовательный полупроводниковый диод, используемый для умножения частоты сверхвысокочастотного сигнала.

Параметрическим полупроводниковым диодом называют варикап, предназначенный для применения в диапазоне сверхвысоких частот в параметрических усилителях.

Переключательным полупроводниковым диодом называют полупроводниковый диод, предназначенный для применения в устройствах управления уровнем сверхвысокочастотной мощности.

Лавинно-пролетными называют полупроводниковые диоды, работающие в режиме лавинного размножения носителей заряда при обратном смещении электрического перехода и которые используются для генерации сверхвысокочастотных колебаний.

Модуляторным называют преобразовательный полупроводниковый диод, используемый для модуляции амплитуды переменного сигнала.

Термины и определения основных параметров СВЧ диодов.

Выпрямленный ток смесительного диода $I_{\text{вн}}$ — постоянная составляющая тока, протекающая в выходной цепи диода в рабочем режиме.

Постоянный рабочий ток диода Ганна I_p — ток, протекающий через диод Ганна при номинальном постоянном напряжении.

Нормируемое постоянное обратное напряжение СВЧ диода $U_{\text{норм, обр}}$ — максимальное значение постоянного напряжения, приложенного к СВЧ диоду в обратном направлении, при котором ток через диод не превышает заданного значения.

Максимально допустимая рассеиваемая мощность $P_{\text{рас. макс}}$ — максимальное значение мощности, рассеиваемой на СВЧ диоде, при которой обеспечивается заданная надежность при длительной работе.

Максимально допустимая импульсная рассеиваемая мощность $P_{\text{и, рас, макс}}$ — максимальное значение мощности, рассеиваемой на СВЧ диоде в импульсе при определенной скважности и длительности импульса, при котором обеспечивается заданная надежность при длительной работе.

Минимальная выходная непрерывная мощность диода $P_{\text{вых, мин}}$ — минимальное значение непрерывной СВЧ мощности от даваемой генерирующим диодом в заданной полосе частот при работе на согласованную нагрузку.

Последовательная индуктивность СВЧ диода $L_{\text{пос}}$ — последовательная эквивалентная индуктивность СВЧ диода при заданных условиях.

Емкость перехода СВЧ диода $C_{\text{пер}}$ — емкость между выводами диода СВЧ без конструктивной емкости при заданном напряжении смещения.

П р и м е ч а н и е. В случае, когда полупроводниковый кристалл имеет многослойную структуру, может быть использован термин «емкость структуры» и буквенное обозначение $C_{\text{стр}}$.

Спротивление диода Ганна r_r — полное сопротивление диода Ганна, измеренное при напряжении, значительно меньшем порогового.

Последовательное сопротивление СВЧ диода $r_{\text{чос}}$ — суммарное активное сопротивление базы кристалла, контактных соединений и выводов СВЧ диода.

Прямое сопротивление потерь переключательного диода $r_{\text{чр}}$ —

сопротивление потерь переключающего диода при определенном токе прямого смещения.

Выходное сопротивление смесительного диода $r_{\text{вых}}$ — активная составляющая полного сопротивления смесительного диода на промежуточной частоте.

Сопротивление диода при высоком значении СВЧ мощности $r_{\text{выс}}$ — сопротивление потерь диода, измеренное при высоком значении СВЧ мощности. Под высоким значением СВЧ мощности понимается мощность, при которой сопротивление диода достигает определенного значения.

Постоянная времени параметрического диода τ — произведение емкости перехода на последовательное сопротивление СВЧ диода.

Время выключения СВЧ диода $t_{\text{выкл}}$ — время нарастания напряжения в диоде при переключении его из открытого состояния в закрытое, отсчитанное между значениями 0,2 и 0,8 максимального напряжения на диоде.

Предельная частота умножительного диода $f_{\text{пред}}$ — частота, на которой добротность СВЧ диода равна 1, определяется по формуле

$$f_{\text{пред}} = \frac{1}{2\pi C_{\text{пер}} r_{\text{пос}}}.$$

Критическая частота переключающего диода $f_{\text{кр}}$ — параметр, характеризующий эффективность переключающего диода.

Потери преобразования смесительного диода $L_{\text{прз}}$ — отношение мощности СВЧ сигнала на входе диодной камеры к мощности сигнала промежуточной частоты, выделяемой к нагрузке смесительного диода в рабочем режиме.

Нормированный коэффициент шума смесительного диода $F_{\text{норм}}$ — значение коэффициента шума приемного устройства со смесительным диодом на входе при коэффициенте шума усилителя промежуточной частоты, равном 1,5 дБ.

Шумовое отношение СВЧ диода $n_{\text{ш}}$ — отношение номинальной мощности шумов диода в рабочем режиме к номинальной мощности тепловых шумов активного сопротивления при той же температуре и одинаковой полосе частот.

Коэффициент стоячей волны по напряжению СВЧ диода $K_{\text{ст}, \nu}$ — коэффициент стоячей волны по напряжению в передающей линии СВЧ, когда она нагружена на определенную диодную камеру с СВЧ диодом в рабочем режиме.

Коэффициент качества детекторного диода M — обобщенный параметр, характеризующий чувствительность приемного устройства с детекторным диодом и определяемый по формуле

$$M = \frac{\beta I \cdot r_{\text{диф}}}{\sqrt{n_{\text{ш}} \cdot r_{\text{диф}} + r_{\text{ш}}}},$$

где $r_{\text{ш}}$ — эквивалентное шумовое сопротивление видеоусилителя
 $r_{\text{ш}} = 1 \text{ кОм}$;

$r_{\text{диф}}$ — дифференциальное сопротивление диода.

Чувствительность по току детекторного диода β_I — отношение приращения выпрямленного тока при заданной нагрузке в выходной цепи диода к мощности СВЧ сигнала, подводимой ко входу диодной камеры с детекторным диодом в рабочем режиме, и вызвавшей это приращение.

Чувствительность по напряжению детекторного диода β_U — отношение приращения напряжения на выходе диода к мощности СВЧ сигнала, подводимой ко входу диодной камеры с детекторным диодом в рабочем режиме и вызвавшей это приращение.

Максимально допустимая энергия импульсов для СВЧ диода W_n — максимальное значение энергии импульсов коротких (длительностью не более 10^{-8} с) импульсов, воздействующих на диод, при котором обеспечивается заданная надежность при длительной работе.

В табл. 12.4 дан перечень стандартизированных терминов электрических параметров. Параметры СВЧ диодов приведены в табл. 12.5...12.10.

Табл. 12.4. Перечень стандартизированных терминов электрических параметров, которые могут быть использованы для СВЧ диодов

Термины и обозначения параметров	Нормативно-технический документ
Постоянный обратный ток диода $I_{обр}$	ГОСТ 20004—74
Максимально допустимый постоянный прямой ток диода $I_{пр, макс}$	ГОСТ 20004—74
Пробивное напряжение $U_{проб}$	ГОСТ 20004—74
Максимально допустимое постоянное обратное напряжение диода $U_{обр, макс}$	ГОСТ 20004—74
Максимально допустимая рассеиваемая мощность диода $P_{рас, макс}$	ГОСТ 18216—72
Максимально допустимая рассеиваемая импульсная мощность $P_{и, рас, макс}$	ГОСТ 18216—72
Дифференциальное сопротивление диода $r_{диф}$	ГОСТ 20004—74
Общая емкость диода C_d	ГОСТ 20004—74
Емкость корпуса диода $C_{кор}$	ГОСТ 20004—74
Максимально допустимая рассеиваемая СВЧ мощность диода $P_{СВЧ, макс}$	ГОСТ 18216—72
Максимально допустимая импульсная СВЧ мощность диода $P_{СВЧ, и, макс}$	ГОСТ 18216—72
Коэффициент шума прибора СВЧ $F_{норм}$	ГОСТ 18050.5—73

13. СТАБИЛИТРОНЫ, СТАБИСТОРЫ И ВАРИКАПЫ

13.1. Принцип работы и определения основных электрических параметров стабилитронов и стабисторов

Стабилитроном называют полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя слабо зависит от тока и который используется для стабилизации напряжения.

Табл. 12.5 Параметры переключающих СВЧ диодов

Тип диода	Диапазон длин волн, см	K	$f_{\text{вс}} (f_{\text{выкл}})$, МГц	$f_{\text{кр}}$, ГГц	$U_{\text{пр.б.}}$, В	$C_d (C_{\text{кор}})$, пФ	$r_{\text{пр}} (r_{\text{нас}})$, Ом	$P_{\text{СВЧ, н. макс.}}$, Вт	$P_{\text{СВЧ, макс.}}$ ($P_{\text{рас. макс.}}$), Вт	W и макс. Эрг	$I_{\text{пр. макс.}}$, мА	$U_{\text{обр. макс.}}$, В
1	2	3	4	5	6		8	9	10	11	12	13
ГА501А	3	150	—	—	19	—	—	2	0,8	0,5	—	—
ГА501Б	3	150	—	—	19	—	—	2	0,8	0,5	—	—
ГА501В	3	150	—	—	19	—	—	2	0,5	0,5	—	—
ГА501Г	3	150	—	—	19	—	—	2	0,8	0,5	—	—
ГА501Д	3	150	—	—	19	—	—	2	0,8	0,5	—	—
ГА501Е	3	150	—	—	19	—	—	2	0,8	0,5	—	—
ГА501Ж	3	150	—	—	19	—	—	2	0,1	0,5	—	—
ГА501И	3	150	—	—	19	—	—	2	0,1	0,5	—	—
1А501А	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,1	0,5	—	—
1А501Б	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,1	0,5	—	—
1А501В	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,05	0,5	—	—
1А501Г	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,1	0,5	—	—
1А501Д	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,1	0,5	—	—
1А501Е	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,1	0,5	—	—
1А501Ж	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,001	0,5	—	—
1А501И	3	150	—	—	19	0,12 ... 0,18	—	2,5	0,001	0,5	—	—
2А503А	см, дм	—	60	—	—	0,365 ... 0,435	3,3	1000	1	—	—	—
2А503Б	см, дм	—	60	—	—	0,33 ... 0,425	5	1000	1	—	—	—
ГА504А	см, дм	500	(0,04)	—	—	0,5 ... 0,8	—	—	0,5	—	50	50
ГА504Б	см, дм	200	(0,04)	—	—	0,45 ... 0,8	—	—	0,5	—	50	50
ГА504В	см, дм	100	(0,04)	—	—	0,5 ... 1	—	—	0,5	—	50	50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1A504A	см, дм	500	(0,04)	—	—	0,5 ... 0,8	—	—	0,5	—	50	50
1A504Б	см, дм	200	(0,04)	—	—	0,5 ... 0,8	—	—	0,5	—	50	50
2A505A	см, дм	—	60	—	—	—	—	5000	2	—	—	100
2A505Б	см, дм	—	60	—	—	—	—	5000	2	—	—	100
2A505В	см, дм	—	60	—	—	—	—	5000	2	—	—	100
2A506A	см	—	60	—	—	—	—	2000	2	—	—	100
2A506Б	см	—	60	—	—	—	—	2000	2	—	—	100
2A506В	см	—	60	—	—	—	—	2000	2	—	—	100
2A506Г	см	—	60	—	—	—	—	2000	2	—	—	100
2A506Д	см	—	60	—	—	—	—	2000	2	—	—	100
КА507А	см, дм	—	—	200	500	0,8 ... 1,2	1,5	—	5	—	200	200
КА507Б	см, дм	—	—	200	300	0,8 ... 1,2	1,5	—	5	—	200	200
КА507В	см, дм	—	—	150	300	0,65 ... 1,2	2,5	—	5	—	200	200
2A507А	см, дм	—	—	200	500	0,8 ... 1,2	1,5	—	5	—	200	200
2A507Б	см, дм	—	—	200	300	0,8 ... 1,2	1,5	—	5	—	200	200
КА508А	2 ... 20	600	40	—	—	—	—	800	—	—	500	100
2A508А	2 ... 20	600	40	—	—	—	—	800	1,5	—	500	100
КА509А	см, дм	—	—	150	200	0,9 ... 1,2	1,5	—	2	—	100	150
КА509Б	см, дм	—	—	150	200	0,7 ... 1	1,5	—	2	—	100	150
КА509В	см, дм	—	—	100	200	0,5 ... 1,2	2,5	—	2	—	100	150
2A509А	см, дм	—	—	150	200	0,9 ... 1,2	1,5	—	2	—	100	150
2A509Б	см, дм	—	—	150	200	0,7 ... 1	1,5	—	2	—	100	150
КА510А	см, дм	—	—	—	30	0,7 ... 1,4	(1,5)	40	1	—	200	25
КА510Б	см, дм	—	—	—	30	1,2 ... 2,4	(1,5)	40	1	—	200	25
КА510В	см, дм	—	—	—	30	2,2 ... 3,4	(1,5)	40	1	—	200	25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
КА510Г	см, дм	—	—	—	30	0,6 ... 1,4	(2,5)	40	1	—	200	25
КА510Д	см, дм	—	—	—	30	1,2 ... 2,4	(2,5)	40	1	—	200	25
КА510Е	см, дм	—	—	—	30	2,2 ... 3,6	(2,5)	40	1	—	200	25
2А510А	см, дм	—	—	—	30	0,7 ... 1,4	(1,5)	40	1	—	200	25
2А510Б	см, дм	—	—	—	30	1,2 ... 2,4	(1,5)	40	1	—	200	25
2А510В	см, дм	—	—	—	30	2,2 ... 3,4	(1,5)	40	1	—	100	25
2А511А	см, дм	2500	—	—	—	0,55 ... 0,75	2	10000	—	—	700	50 ... 200
2А512А	см, дм	4000	40	—	—	0,3 ... 0,7	2,5	—	4	—	750	250
2А512Б	см, дм	4000	40	—	—	0,3 ... 0,7	2,5	—	4	—	750	250
КА513А	0,8 ... 2	—	100	—	—	—	—	75	2	—	—	150
КА513Б	0,8 ... 2	—	70	—	—	—	—	140	1,5	—	—	150
2А513А	0,8 ... 2	—	100	—	—	—	—	75	2	—	—	150
2А513Б	0,8 ... 2	—	70	—	—	—	—	140	1,5	—	—	150
2А515А	см	—	70	100	100	0,4 ... 0,7	—	—	0,5	—	100	75
2А516А	см, дм	—	45	—	—	0,18	5,5	1000	1	—	100	200
КА517А	см, дм	—	—	75	300	0,15 ... 0,3	5	—	0,5	—	100	150
КА517Б	см, дм	—	—	75	300	0,25 ... 0,4	5	—	0,5	—	100	150
2А518А	см, дм	—	6	130	—	0,65 ... 0,85	1	2000	—	—	500	200
2А518Б	см, дм	—	2,5	90	—	0,65 ... 0,85	2	2000	—	—	500	200
2А519А	см, дм	—	—	—	—	0,5...0,9(0,2...0,3)	(2,2)	30	(0,3)	—	100	10
КА520А	см, дм	—	—	200	800	0,4 ... 1	2	10000	(4)	—	200	300
КА520Б	см, дм	—	—	150	600	0,4 ... 1	3	10000	(4)	—	200	300
2А520А	см, дм	—	—	200	800	0,4 ... 1	2	10000	(4)	—	200	300
2А521А	см, дм	—	—	90	—	0,63 ... 0,77	1,5	10000	(3)	—	1500	50 ... 200

Табл. 12.6. Параметры детекторных СВЧ диодов

Тип диода	$M, B_T^{-1/2}$	$\beta_I, A/B_T$	$r_{д}, \Omega$	$r_{в}, k\Omega$	$K_{ст}, ш$	$r_{ш}, k\Omega$	$\beta_{ш}, B \cdot B_T^{-1/2}$	$\lambda, см$	$P_{СВЧ}, и, макс, мВт$	$P_{СВЧ}, и, макс, мВт$	Диапазон рабочих температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ДК-В1	—	0,8	—	15	—	—	—	10	—	—	—60...+70
ДК-В2	—	1,2	—	10	—	—	—	10	—	—	—60...+70
ДК-В3	—	0,4	—	—	—	—	—	3	—	—	—60...+70
ДК-В4	—	0,8	—	10	—	—	—	3	—	—	—60...+70
ДК-В5М	—	0,8	—	10	—	—	—	10	200	—	—60...+100
ДК-В6М	—	0,8	—	25	—	—	—	10	200	—	—60...+100
ДК-В7М	—	0,4	—	10	—	—	—	3	200	—	—60...+100
ДКИ-1М	—	0,5	—	10	—	—	—	10...3	200	—	—60...+100
ДКИ-2М	—	0,2	—	—	—	—	—	10...3	200	—	—60...+100
ДК-В8	15	—	—	1,5	3	—	—	2,7...6 1,8...3,2	—	—	—60...+70
ДК-В11	—	1,5	—	10	2,5	—	—	9	—	—	—60...+70
Д601А	15	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—60...+70
Д601Б	15	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—60...+70
Д601В	15	—	—	2	3	—	—	—	—	—	—60...+70
Д602А	15	1,5	200...600	—	3,2	12	—	2,7...60	—	—	—60...+70
Д602Б	20	1,5	200...600	—	3,2	12	—	2,7...60	—	—	—60...+70
Д603	45	4	300...900	—	2	—	—	6...60	200	—	—60...+100
Д604	35	2,5	500...900	—	1,8	—	—	2,7	300	10	—60...+100
Д605	—	—	—	—	—	—	14	—	—	—	—60...+100
Д606	—	—	—	—	—	—	14	—	100	—	—60...+85
Д607	30	—	400...1200	—	3	—	—	—	100	5	—60...+125
Д607А	30	—	400...1200	—	3	—	—	—	100	5	—60...+125
Д608	30	—	400...1200	—	3	—	—	—	150	7	—60...+125
Д608А	30	—	400...1200	—	3	—	—	—	200	7	—60...+125
Д609	80	—	1000...2000	—	1,6	—	—	—	—	2	—60...+100
2А201А	80	6,5	400...1000	—	1,5	—	—	8...60	300	20	—60...+125
2А202А	40	2,5	400...1000	—	1,5	—	—	3...8	300	20	—60...+120
2А203А	120	3,8	1000...2000	—	1,8	—	—	2	100	50	—60...+125
2А203Б	100	2,8	1000...2000	—	2,5	—	—	2	100	50	—60...+125

Табл. 12.7. Параметры параметрических СВЧ диодов

Тип диода	C _{пер.} пФ	C _{кор.} пФ	L _{пос.} нГ	U _{проб.} В	I _{обр.} мкА	λ , см	τ , пс	P _{СВЧ} , макс. мВт		P _{СВЧ} , и, макс. Вт		W _и , макс. Эрг	Диапазон рабочих тем- ператур, °C
								длительное воздействие	кратковремен- ное воздейст- вие	длительное воздействие	кратковремен- ное воздейст- вие		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ГА401	0,45...0,87	0,18...0,25	2,2	20	0,5	6...60	2,2	200	400	5	10	—	—60...+70
ГА401А	0,36...0,55	0,18...0,25	2,2	20	0,5	6...60	2	200	400	5	10	—	—60...+70
ГА401Б	0,26...0,44	0,18...0,25	2,2	20	0,5	6...60	1,8	200	400	5	10	—	—60...+70
ГА401В	0,12...0,33	0,18...0,25	2,2	20	0,5	6...60	1,7	200	400	5	10	—	—60...+70
1А401	0,45...0,87	0,18...0,25	2	20	0,5	6...60	2,2	200	400	5	10	—	—60...+70
1А401А	0,36...0,55	0,18...0,25	2	20	0,5	6...60	2	200	400	5	10	—	—60...+70
1А401Б	0,26...0,44	0,18...0,25	2	20	0,5	6...60	1,8	200	400	5	10	—	—60...+70
1А401В	0,12...0,33	0,18...0,25	2	20	0,5	6...60	1,7	200	400	5	10	—	—60...+70
ГА402А	0,3	0,23...0,29	2,2	15	0,5	3...6	1,2	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
1А402А	0,3	0,23...0,29	2	15	0,5	3...6	1,2	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
ГА402Б	0,16	0,23...0,29	2,2	15	0,5	3...6	0,9	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
1А402Б	0,16	0,23...0,29	2	15	0,5	3...6	0,9	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
ГА402В	0,13...0,3	0,23...0,29	2,2	15	0,5	3...6	0,75	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
1А402В	0,13...0,3	0,23...0,29	2	15	0,5	3...6	0,75	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
ГА402Г	0,16	0,23...0,29	2,2	15	0,5	3...6	0,75	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
1А402Г	0,16	0,23...0,29	2	15	0,5	3...6	0,75	50	100	2,5	5	0,7	—60...+70
ГА403А	0,32...0,50	0,18...0,25	2,2	50	2	см, дм	2	400	600	15	25	—	—60...+70
1А403А	0,32...0,50	0,20...0,25	1,2	50	2	см, дм	2	400	600	15	25	—	—60...+70
ГА403Б	0,26...0,40	0,18...0,25	2,2	50	1	см, дм	1,6	400	600	15	25	—	—60...+70
1А403Б	0,26...0,40	0,20...0,25	1,2	50	1	см, дм	1,6	400	600	15	25	—	—60...+70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ГА403В	0,18...0,30	0,18...0,25	2,2	50	1	см, дм	1,6	400	600	15	25	—	—60...+70
1А403В	0,18...0,30	0,20...0,25	1,2	50	1	см, дм	1,6	400	600	15	25	—	—60...+70
ГА403Г	0,08...0,22	0,18...0,25	2,2	50	1	см, дм	1,6	400	600	15	25	—	—60...+70
1А403Г	0,08...0,22	0,20...0,25	1,2	50	1	см, дм	1,6	400	600	15	25	—	—60...+70
ГА403Д	0,08...0,22	0,18...0,25	2,2	50	1	см, дм	1,3	400	600	15	25	—	—60...+70
1А403Д	0,08...0,22	0,20...0,25	1,2	50	1	см, дм	1,3	400	600	15	25	—	—60...+70
1А404А	0,11	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А404Б	0,09...0,14	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А404В	0,11...0,16	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А404Г	0,13...0,23	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А404Д	0,17...0,28	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А404Е	0,22...0,36	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А404Ж	0,3...0,45	0,2...0,26	1,2...1,8	10	0,2	3	0,85	40	60	1	2	0,3	—60...+70
1А405А	0,18...0,25	0,19...0,25	1...2	8...15	0,2	3	1,2	—	—	0,5	1	—	—65...+70
1А405Б	0,22...0,40	0,19...0,25	1...2	8...15	0,2	3	1,2	—	—	0,5	1	—	—65...+70
1А408А	0,5...0,56	0,3...0,34	0,45...0,65	12	0,05	см, дм	0,6	40	—	1	2	0,3	—196...+25
1А408Б	0,54...0,62	0,3...0,34	0,45...0,65	12	0,05	см, дм	0,6	40	—	1	2	0,3	—196...+25

Табл. 12.8. Параметры смесительных диодов СВЧ

Тип диода	λ , см	$L_{прб}$, дБ	$\eta_{ш}$	$F_{норм}$, дБ	$K_{ст}$, V	$r_{вых}$, Ом	$I_{вп}$, мА	$P_{СВЧ}$, и. макс. мВт		$W_{и}$, Эрг	$P_{СВЧ}$, макс. мВт		Диапазон рабочих температур, °C
								длительное воздействие	кратковременное воздействие		длительное воздействие	кратковременное воздействие	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Д403Б	3...12	8,5	2,7	—	—	200...600	—	150	—	0,3	—	—	—60...+70
Д403В, ВП	3...12	8,5	2,5	11	3	200...600	—	150	—	0,3	—	—	—60...+70
Д402	—	10	2,5	—	3	250...650	—	15	—	0,02	—	—	—60...+85
Д404	—	8,5	2,5	—	2,5	280...520	—	15	—	0,02	—	—	—60...+85
Д405	3	7	—	10	2	250...550	1	—	300	0,3	20	—	—60...+100
Д405А, АП	3	6,5	—	—	1,7	300...500	1	—	300	0,3	20	—	—60...+100
Д405Б, БП	3	6,5	2	8,5	1,4	300...500	1	—	300	0,3	20	—	—60...+100
Д406А, АП	см	7	2	—	2	240...460	0,7	100	300	0,2	—	—	—60...+100
Д407	—	12	6	—	3	400...1500	—	20	—	0,02	—	—	—60...+85
Д408, П	10	—	—	7,5	1,3	290...390	0,8	500	—	0,5	—	—	—60...+125
Д409А, АП	3	7,5	21	—	1,7	350...575	0,2...0,5	300	—	0,3	—	30	—60...+100
ДКС1М	10	8,5	—	—	3,5	—	0,4	300	—	0,3	—	—	—60...+100
ДКС2М	10	6,5	2	—	3	—	0,4	300	—	0,3	—	—	—60...+100
ДКС7М	3...12	7,5	2	—	2	250...700	3	300	—	0,3	—	—	—60...+100
ДГС1	10	8,5	3	—	3	—	—	80	—	0,1	—	—	—30...+70
ДГС2	10	6,5	3	—	1,4	—	1	80	—	0,1	—	—	—60...+70
1А106А, АР	2...3	12,5	—	19	2	160...300	0,12	—	100	0,05	6	30	—60...+70
1А106Б, БР	2...3	13,5	—	22	1,2	160...300	0,1	—	100	0,05	6	30	—60...+70
1А106В, ВР	2...3	13,5	—	19	3	160...300	0,1	—	100	0,05	6	30	—60...+70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2A101A	—	10	2	3	—	200...550	0,5	150	200	0,06	—	—	—60...+100
2A101Б	—	9	2	—	3	—	0,5	250	300	0,2	—	—	—60...+100
2A102A	10...30	—	—	8,5	1,5	250...450	1,2	500	6000	—	30	—	—60...+100
2A103A	—	10	2	—	3	200...550	0,5	150	200	0,06	10	75	—60...+100
2A103Б	—	9	2	—	3	200...550	0,5	250	300	0,2	15	100	—60...+100
2A104A	8...60	6,5	—	—	1,5	340...560	0,5	300	500	0,3	20	100	—60...+125
2A105A, AP	3...8	7	—	10	1,7	250...500	0,8	300	500	0,5	20	100	—60...+125
2A105Б, BP	3...8	6,7	—	9	1,5	250...450	0,8	300	500	0,5	20	100	—60...+125
2A107A	2	7,5	2	9	1,5	175...375	0,3	300	—	—	20	50	—60...+100
2A108A	10	5	—	6,5	1,5	425...575	0,7	50	100	—	50	100	—60...+100
2A109A	3	6,5	—	8,5	1,6	220...380	0,9	300	500	0,3	20	500	—60...+125
AA111A	3	6	—	7,5	1,5	300...560	1...2,5	550	750	—	50	500	—60...+100
AA111Б	3	5,5	—	7	1,5	300...560	1...2,5	550	750	—	50	500	—60...+100
3A111A	3	6	—	7,5	1,5	300...560	1...2,5	550	750	—	50	100	—60...+100
3A111Б	3	5,5	—	7	1,5	300...560	1...2,5	550	750	—	50	500	—60...+100
3A110A	2	6,5	—	8	2	200...500	0,9...2,2	150	—	0,2	50	100	—60...+100
3A110Б	2	6	—	7,5	1,6	210...490	0,9...2,2	150	—	0,2	50	100	—60...+100
AA112A	3	6	—	7	1,3	440...640	1...2,5	300	—	—	20	—	—60...+100
AA112Б	3	6	—	7	1,8	440...640	1...2,5	300	—	—	20	—	—60...+100
AA113A	см, дм	6	—	7,5	1...3,5	—	0,7...2,5	100	400	—	50	200	—60...+100
AA113Б	см, дм	6,5	—	9	1...3,5	—	0,7...2,5	100	400	—	50	200	—60...+100

Табл. 12.9. Параметры умножительных диодов СВЧ

Тип диода	$U_{\text{норм. обр. В}}$	$I_{\text{обр. мкА}}$	$C_d (C_{\text{кор}}), \text{пФ}$	$L_{\text{пос. нГ}}$	$f_{\text{пред. ГГц}}$	$\lambda, \text{см}$	$P_{\text{СВЧ, макс. мВт}}$		$U_{\text{обр. макс. В}}$	Диапазон рабочих температур, °С
							длительное воздействие	кратковременное воздействие		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Д501	—	—	—	—	—	—	100	200	—	—60...+100
2А601А	—	—	—	—	—	—	100	200	—	—60...+100
КА602А	60	100	4,7...8,7 (0,5...0,7)	1,5	10	3	2500	—	60	—60...+100
2А602А	60	100	4,7...8,7 (0,5...0,7)	1,5	15	3	2500	—	60	—60...+100
КА602Б	60	100	2,7...4,7 (0,5...0,7)	1,5	20	3	1500	—	60	—60...+100
2А602Б	60	100	2,7...4,7 (0,5...0,7)	1,5	25	3	1500	—	60	—60...+100
КА602В	45	100	1,7...2,7 (0,5...0,7)	1,5	30	3	1000	—	45	—60...+100
2А602В	45	100	1,7...2,7 (0,5...0,7)	1,5	35	3	1000	—	45	—60...+100
КА602Г	45	100	1,2...1,7 (0,5...0,7)	1,5	40	3	700	—	45	—60...+100
2А602Г	45	100	1,2...1,7 (0,5...0,7)	1,5	50	3	700	—	45	—60...+100
КА602Д	30	100	1...1,3 (0,5...0,7)	1,5	50	3	500	—	30	—60...+100
2А602Д	30	100	1...1,3 (0,5...0,7)	1,5	60	3	500	—	30	—60...+100
АА603А	20	—	0,5...1,5	—	100	3	400	—	20	—60...+85
ЗА603А	—	—	0,5...1,5 (0,27...0,33)	1,7	100	3	400	—	20	—60...+85
АА603Б	20	—	0,5...1,2	—	150	3	400	—	20	—60...+85
ЗА603Б	—	—	0,5...1,2 (0,27...0,33)	1,7	150	3	400	—	20	—60...+85
АА603В	10	—	0,5...1,2	—	200	3	160	—	10	—60...+85
ЗА603В	—	—	0,5...1,2 (0,27...0,33)	1,7	200	3	160	—	10	—60...+85
АА603Г	15	—	0,5...1,2	—	250	3	250	—	15	—60...+85
ЗА603Г	—	—	0,5...1,2 (0,27...0,33)	1,7	250	3	250	—	15	—60...+85
2А604А	—	—	0,8...1,1 (0,35...0,45)	0,45—0,65	100	3	1000	—	—	—60...+125
2А604Б	35	—	1...1,3 (0,6...0,7)	1,6—1,8	80	3	1000	—	—	—60...+125
2А605А	—	100	0,85...1,45 (0,2...0,3)	—	100	3	1000	—	30	—60...+125
2А605Б	—	100	0,55...0,95 (0,2...0,3)	—	130	3	700	—	30	—60...+125
КА606А	—	100	0,5...1,2	—	—	см, дм	800	—	30	—60...+125
КА606Б	—	100	0,3...0,7	—	—	см, дм	600	—	30	—60...+125

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3A607A	30	—	0,8...1,9 (0,25...0,35)	1,5	100	—	1000	—	30	—60...+80
2A608A	45	—	1,25...3,5 (0,45)	1,5	60	3	4000	—	45	—60...+125
2A609A	—	100	1,1...1,8 (0,2...0,3)	—	150	—	2000	—	40	—60...+125
2A609Б	30	100	0,8...1,3 (0,2...0,3)	—	150	—	1000	—	40	—60...+125

Табл. 12.10. Параметры генераторных и модуляторных диодов СВЧ

Тип диода	Диапазон длин волн, см	$P_{\text{вых}}, \text{ мВт}$ ($P_{\text{вых}} \rangle$)	$U_{\text{проб}}, \text{ В}$	$I_{\text{р}}, \text{ мА}$	$r_{\text{о}}, \text{ Ом}$	$U_{\text{макс}}, \text{ В}$	$I_{\text{обр. макс.}}, \text{ мА}$	$I_{\text{макс.}}, \text{ мА}$	Диапазон рабочих температур, °С
1A701A	—	3	1	—	—	—	13,2	50	—60...+70
1A701Б	—	5	1	—	—	—	13,2	50	—60...+70
1A701В	—	3	1	—	—	—	13,2	50	—60...+70
1A701Г	—	5	1	—	—	—	13,2	50	—60...+70
1A701Д	—	3	1	—	—	—	13,2	50	—60...+70
AA703A	см	10	—	270	3...20	8,5	—	—	—60...+60
AA703Б	см	20	—	320	3...20	8,5	—	—	—60...+60
3A703A	см	10	—	270	3...20	8,5	—	—	—60...+60
3A703Б	см	20	—	320	3...20	8,5	—	—	—60...+60
1A704A	—	10	60	—	—	—	—	—	—60...+60
1A704Б	—	30	60	—	—	—	—	—	—60...+60
1A704В	—	20	60	—	—	—	—	—	—60...+60
AA705A	см	20	—	280	3...15	10	—	—	—60...+60
AA705Б	см	50	—	300	3...15	10	—	—	—60...+60
3A705A	см	20	—	280	3...15	10	—	—	—60...+60
3A705Б	см	50	—	300	3...15	10	—	—	—60...+60
Д401	7...10	(15)	—	—	—	—	—	—	5...50
Д401А (модулятор)	7...10	(2,5)	—	—	—	—	—	—	5...50

Стабистором — называют полупроводниковый стабилитрон, в котором областью стабилизации является прямая ветвь вольт-амперной характеристики.

Стабилитроны работают на той части обратной ветви вольт-амперной характеристики (рис. 13.1, а), где незначительное увеличение напряжения вызывает существенное увеличение обратного то-

ка. Такой режим работы носит название режима пробоя $p-n$ -перехода. Однако «пробой» перехода не приведет к повреждению стабилитрона, если ток через него не превышает допустимой величины.

Рабочий участок характеристики $I_{\text{ст. макс}} - I_{\text{ст. мин}}$ соответствует лавинному пробоему стабилитрона. В интервале напряжений стабилизации от 200 до 40 В стабилитроны реализуют лавинный пробой, а от 40 до 7 В — лавинный и зенеровский пробой, ниже 7 В — зенеровский пробой. Процесс лавинного пробоя стабилитронов является управляемым. При токах, превышающих $I_{\text{ст. макс}}$, возникает тепловой пробой, приводящий к разрушению перехода. Поэтому допустимая величина тока через стабилитрон ограничивается максимально допустимой мощностью рассеяния: $P_{\text{макс}} = U_{\text{обр. макс}} I_{\text{ст. макс}}$ (точка пересечения кривой допустимой мощности рассеяния и вольт-амперной характеристики).

Стабистор отличается от стабилитрона тем, что он работает на прямой ветви вольт-амперной характеристики (рис. 13.1, б) и поэтому включается в цепь стабилизации в прямом направлении в отличие от стабилитрона, который включается в обратном направлении. Максимально допустимый ток через стабилитрон (стабистор) ограничивают с помощью резистора.

Стабилитроны изготавливают методом вплавления алюминия в пластину кремния с удельным сопротивлением 0,026...0,12 Ом·см. Современные кремниевые стабилитроны большой мощности (например, СК-15, СК-50 и др.) с $p-n$ -переходом большой площади изготавливают диффузионно-сплавным методом. При этом в процессе изготовления напряжение пробоя перехода, используемое как напряжение стабилизации, может быть получено различным в зависимости от сопротивления исходного кремния и режима диффузии. Направление прямого тока через стабилитроны обозначено на их корпусах стрелкой. Для улучшения теплового режима стабилитроны средней и большой мощности монтируют на радиаторах.

Основой наиболее распространенного стабистора 7ГЕ1А-С (рис. 13.2) является алюминиевый диск, на одну из плоскостей которого нанесен слой селена, а поверх него — слой сплава олова, висмута и кадмия. Вследствие химической реакции между сплавом и селеном образуется прослойка селенида кадмия, а между ней и селеном — $p-n$ -переход с прямым направлением от алюминия к сплаву. Селеновые стабилизирующие диоды применяются для стабилизации напряжения менее 3 В. Прямая ветвь таких стабисторов не только обеспечивает необходимое стабилизированное напряжение, но одновременно и низкое дифференциальное сопротивление, а также сравнительно малую зависимость характеристик от изменения температуры.

Общие понятия и параметры полупроводниковых стабилитронов и стабисторов установлены ГОСТ 18994—73. К ним относятся следующие.

Область стабилизации — участок вольт-амперной характеристики стабилитрона, ограниченный минимально допустимым и максимально допустимым постоянным током стабилизации (минимально

допустимым и максимально допустимым импульсным током для импульсных стабилитронов).

Предпробойная область — участок вольт-амперной характеристики стабилитрона, ограниченный постоянным обратным током при максимально допустимом постоянном обратном напряжении и минимально допустимым током стабилизации.

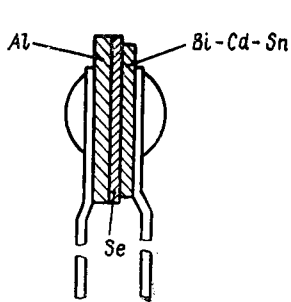


Рис. 13.2. Устройство селенового стабилитрона

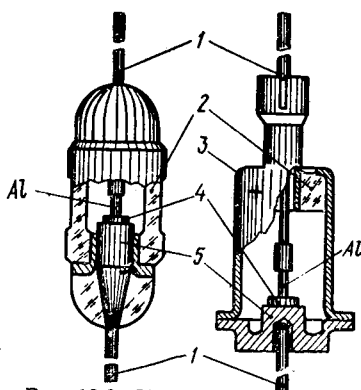


Рис. 13.3. Конструкции варикапов: 1 — проволочный вывод (медь); 2 — изолятор (стекло); 3 — корпус из кобальта; 4 — пластина кремния; 5 — кристаллодержатель

Двуханодный стабилитрон — полупроводниковый стабилитрон, имеющий два встречновключенных $p-n$ -перехода, каждый из которых является основным для противоположной полярности.

Основной $p-n$ -переход стабилитрона — переход, который при работе стабилитрона в области стабилизации находится в режиме электрического пробоя (для стабилитронов, имеющих несколько $p-n$ -переходов).

Обратное напряжение стабилитрона — напряжение, при приложении которого к стабилитрону его основной $p-n$ -переход (переходы) имеет обратное включение.

Ток стабилизации $I_{ст}$ — ток, протекающий через стабилитрон в области стабилизации.

Прямой ток стабилитрона $I_{пр}$ — прямой ток, протекающий через стабилитрон при прямом включении основного $p-n$ -перехода стабилитрона.

Напряжение стабилизации $U_{ст}$ — значение напряжения на стабилитроне при протекании заданного тока стабилизации.

Постоянное прямое напряжение стабилитрона $U_{пр}$ — значение напряжения на стабилитроне при протекании постоянного прямого тока.

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение стабилитрона $U_{обр, макс}$ — максимальное значение постоянного обратного напряжения на стабилитроне вне области стабилизации, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое импульсное обратное напряжение стабилитрона $U_{обр (и) макс}$ — максимальное значение импульсного обратного напряжения на стабилитроне вне области стабилизации при заданной длительности импульса, при котором обеспечивается заданная надежность.

Минимально допустимый ток стабилизации $I_{ст, мин}$ — минимальное значение тока стабилизации, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый постоянный ток стабилизации $I_{ст, макс}$ — максимальное значение постоянного тока стабилизации, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый импульсный ток стабилизации $I_{ст, и, макс}$ — максимальное значение импульсного тока стабилизации при заданных скважности и длительности импульса, при котором обеспечивается заданная надежность.

Постоянный обратный ток стабилитрона $I_{обр}$ — постоянный ток, протекающий через стабилитрон при заданном обратном напряжении.

Максимально допустимый постоянный прямой ток стабилитрона $I_{пр, макс}$ — максимальное значение постоянного прямого тока, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый импульсный прямой ток стабилитрона $I_{пр, и, макс}$ — максимальное значение импульсного прямого тока при заданных скважности и длительности импульса, при котором обеспечивается заданная надежность.

Дифференциальное сопротивление стабилитрона $r_{ст}$ — величина, определяемая отношением приращения напряжения стабилизации на стабилитроне к вызвавшему его малому приращению тока в заданном диапазоне частот.

Температурный коэффициент напряжения стабилизации $\alpha_{ст}$ — величина, определяемая отношением относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды при постоянном токе стабилизации. Температурный коэффициент напряжения стабилизации выражается в $\%/^{\circ}\text{C}$.

Максимально допустимая рассеиваемая мощность стабилитрона $P_{макс}$ — максимальная постоянная или средняя мощность, рассеиваемая на стабилитроне, при которой обеспечивается заданная надежность.

Допускаемый разброс значения напряжения стабилизации от номинального значения $\Delta U_{ст}$ — максимально допустимое отклонение значения напряжения стабилизации от номинального значения для стабилитронов данного типа.

Буквенные обозначения электрических параметров и характеристик групп полупроводниковых стабилитронов приведены в табл. 13.1.

¹ Термин не является параметром стабилитрона.

Табл. 13.1. Буквенные обозначения параметров и характеристик групп полупроводниковых стабилитронов

Группы стабилитронов	Перечень электрических параметров	Характеристики и зависимости электрических параметров
Общего назначения	$U_{ст}; \delta U_{ст}; U_{пр}; I_{обр};$ $U_{обр, макс}; I_{ст, мин}; I_{ст, макс};$ $I_{пр, макс}; r_{ст}; \alpha_{ст}; P_{макс};$ $P_{и, макс}; t_{вых}; Q_{пк}; S_{ш, ст};$ $I_{ст(и) макс}; I_{пр(и) макс}; C;$ $t_{п(п) макс}; t_{р(п) макс}$	$U_{ст}=f(I_{ст}); r_{ст}=f(I_{ст});$ $I_{ст(и) макс}=f(\tau_{и})^1;$ $I_{ст, макс}=f(\Theta)^2;$ $C=f(U_{обр}); \alpha_{ст}=f(I_{ст});$ $r_{ст}=f(f); \delta U_{ст}=f(I_{ст});$ $P_{макс}=f(\Theta); U_{пр}=f(\Theta);$ $U_{пр}=f(I_{пр}); P_{и, макс}=f(\Theta)$
Термокомпенсированные прецизионные	$U_{ст}; \delta U_{ст}; r_{ст};$ $I_{ст, мин}; I_{ст, макс}; P_{макс};$ $\alpha_{ст}; S_{ш, ст}; t_{вых};$ $U_{обр, макс}; t_{п(п) макс};$ $t_{р(п) макс}$	$U_{ст}=f(I_{ст}); r_{ст}=f(I_{ст});$ $I_{макс}=f(\Theta); \alpha_{ст}=f(I_{ст});$ $\delta U_{ст}=f(I_{ст}); P_{макс}=f(\Theta);$ $t_{вых}=f(\delta U_{ст})$
Импульсные	$U_{ст}; \delta U_{ст}; U_{обр, макс};$ $U_{обр(и) макс}; I_{ст, мин};$ $I_{ст, макс}; I_{ст(и) макс}; I_{обр};$ $I_{пр, макс}; I_{пр(и) макс}; r_{ст};$ $\alpha_{ст}; C; L; P_{макс}; P_{и, макс};$ $S_{ш, ст}; t_{вых}; t_{вкл}; t_{п(п) макс};$ $t_{р(п) макс}; Q_{пк}; U_{пр}$	$U_{ст}=f(I_{ст}); r_{ст}=f(\Theta)^2;$ $r_{ст}=f(f); r_{ст}=f(I_{ст});$ $I_{ст(и) макс}=f(\tau_{и})^1;$ $C=f(U_{обр}); I_{ст, макс}=f(\Theta);$ $P_{макс}=f(\Theta); \delta U_{ст}=f(I_{ст});$ $U_{пр}=f(\Theta); U_{пр}=f(I_{пр});$ $P_{и, макс}=f(\Theta);$ $I_{ст(и) макс}=f(\Theta);$ $I_{пр(и) макс}=f(\Theta)$
Двуханодные	$U_{ст}; \delta(U_{ст}); H_{ет};$ $I_{ст, мин}; I_{ст, макс}; I_{обр};$ $t_{р(п) макс}; r_{ст}; \alpha_{ст}; P_{макс};$ $P_{и, макс}; t_{вых}; C; L;$ $t_{п(п) макс}; t_{вкл}; U_{обр, макс}$	$U_{ст}=f(I_{ст}); \delta U_{ст}=f(I_{ст});$ $I_{ст(и) макс}=f(\tau_{и});$ $C=f(U_{обр}); P_{макс}=f(\Theta);$ $P_{и, макс}=f(\Theta); r_{ст}=f(I_{ст});$ $r_{ст}=f(f); I_{ст, макс}=f(\Theta)$
Стабисторы	$U_{ст}; \delta U_{ст}; I_{ст, макс};$ $I_{ст(и) макс}; I_{обр}; I_{ст, мин};$ $r_{ст}; \alpha_{ст}; P_{макс}; P_{и, макс};$ $t_{вых}; Q_{пк}; U_{обр, макс}$	$U_{ст}=f(I_{ст}); I_{ст, макс}=f(\Theta);$ $P_{макс}=f(\Theta); r_{ст}=f(I_{ст});$ $P_{и, макс}=f(\Theta); P_{макс}=f(\Theta)$ $I_{ст(и) макс}=f(\tau_{и});$ $\alpha_{ст}=f(I_{ст})$

¹ $\tau_{и}$ — длительность импульса.

² Θ — температура окружающей среды.

13.2. Классификация и обозначения стабилитронов и стабисторов

Промышленность выпускает стабилитроны малой, средней и большой мощности. К стабилитронам *малой мощности* относятся стабилитроны КС133, КС139, КС147, КС156, КС162, КС168, КС196, КС175, КС182, КС191, КС210, КС211, КС213; Д808... Д811, Д813, Д818, 7ГЕ1А-С и 7ГЕ2А-С, 7ГЕ3А-С, Д220С и Д223С.

Стабилитронами *средней мощности* являются стабилитроны Д814 Д816, Д817, КС620, КС630, КС650, КС680, 2С920, 2С930, 2С950, 2С980 и др.

Стабилитроны *большой мощности* — это силовые кремниевые стабилитроны серии СК, а также силовые термокомпенсированные стабилитроны серии СКТ, предназначенные для получения прецизионного стабилизированного напряжения в высокостабильных генераторах и высокоточных системах автоматического регулирования и управления. Конструктивно стабилитрон серии СКТ содержит две кремниевые пластины с тремя $p-n$ -переходами, один из которых является рабочим, а два других — компенсирующими. Стабилитроны серии СК (стабилитрон кремниевый) предназначены для стабилизации напряжения от 5 до 400 В.

В обозначении стабилитронов большой мощности после букв стоят цифры, указывающие номинальную мощность в ваттах, номинальное напряжение стабилизации в вольтах и номинальный ток стабилизации в миллиамперах. Например, стабилитрон типа СК-15-5,6/2000 обладает следующими параметрами: мощность рассеяния — 15 Вт, номинальное напряжение стабилизации — 5,6 В и номинальный ток стабилизации 2000 мА.

Стабилитроны могут применяться для самых различных целей. Например, объединение кремниевых стабилитронов (чувствительных к напряжению) с токочувствительными плавкими предохранителями может способствовать дальнейшему увеличению надежности систем. Они применяются для защиты нагрузки от пониженного напряжения, в измерительной технике (защита измерительных приборов от перегрузок и др.), в усилителях постоянного и переменного тока для целей стабилизации режима работы транзисторов в релейных схемах, в цифровых счетно-решающих устройствах для выполнения функции «включено — выключено», в генераторах прямоугольных импульсов, для формирования и ограничения импульсов, в качестве переключателей.

Селеновые стабисторы 7ГЕ1А-С и 7ГЕ2А-С могут быть применены в транзисторных каскадах с автономным источником питания для стабилизации цепей смещения, а также для температурной компенсации в источниках стабилизированного напряжения вместе с кремниевыми стабилитронами. Помимо того, селеновые стабисторы могут использоваться в качестве маломощных выпрямителей.

Табл. 13.2. Параметры стабилитронов и стабилиторов малой мощности

Тип стабилитрона	$U_{ст}$, В	$\Delta U_{ст}$, ± % (± В)	$I_{ст}$, мА	$I_{ст мин}$, мА	$I_{ст макс}$, мА	$r_{ст}$ (при $I_{ст 1}$, мА), Ом	$r_{ст 2}$ (при $I_{ст 2}$, мА), Ом	$I_{пр макс}$ ($I_{пр}$, н. макс) [$I_{обр}$, н. макс], мА	$\alpha_{ст} \cdot 10^{-2}$, %/°C (мВ/°C)	$P_{макс}$, мВт	Диапазон рабочих температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Д808	7...8,5	(0,043)	5	3	33	—	6(5)	50	+7	280	—55...+100
Д809	8...9,5	(0,048)	5	3	29	18(1)	10(5)	50	+8	280	—55...+100
Д810	9...10,5	(0,053)	5	3	26	25(1)	12(5)	50	+9	280	—55...+100
Д811	10...12	(0,060)	5	3	23	—	15(5)	50	+9,5	280	—55...+100
Д813	11,5...14	(0,070)	5	3	20	—	18(5)	50	+9,5	280	—55...+100
Д818А	9	+20	10	3	33	100(3)	25(10)	—	+2,3	300	—60...+100
Д818Б	9	—20	10	3	33	100(3)	25(10)	—	—2,3	300	—60...+100
Д818В	9	15	10	3	33	100(3)	25(10)	—	+1,1	300	—60...+100
Д818Г	9	15	10	3	33	100(3)	25(10)	—	+0,6	300	—60...+100
Д818Д	9	15	10	3	33	100(3)	25(10)	—	+0,2	300	—60...+100
Д818Е	9	15	10	3	33	100(3)	25(10)	—	+0,1	300	—60...+100
КС133А	3,3	10	10	3	81	180(3)	65(10)	50	—11	300	—60...+100
2С133А	3,3	10	10	3	81	180(3)	65(10)	50	—11	300	—60...+125
2СМ133Б	3,3	(0,3)	—	3	30	180(3)	65(10)	—	0; —10	—	—60...+125
КС139А	3,9	10	10	3	70	180(3)	60(10)	50	—10; 0	300	—60...+100
2С139А	3,9	10	10	3	70	180(3)	60(10)	50	—10; 0	300	—60...+125
2СМ139Б	3,9	(0,4)	—	3	26	180(3)	60(10)	—	—10; 0	—	—60...+125
КС147А	4,7	10	10	3	58	160(3)	56(10)	50	—9; +1	300	—60...+100
2С147А	4,7	10	10	3	58	160(3)	56(10)	50	—9; +1	300	—60...+125
2СМ147Б	4,7	(0,6)	—	3	21	180(3)	56(10)	—	—8; +2	—	—60...+125
КС156А	5,6	10	10	3	55	160(3)	46(10)	50	—5; +5	300	—60...+100
2С156А	5,6	10	10	3	55	140(3)	37(10)	50	—5; +5	300	—60...+125

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2CM156B	5,6	(0,6)	—	3	18	160(3)	45(10)	—	—4;+7	—	—60...+125
KC162A	6,2	(0,4)	—	3	22	150(3)	35(10)	—	—6	150	—55...+100
2C162A	6,2	5	—	3	22	160(3)	35(10)	(22)	—6	150	—60...+125
KC168A	6,8	10	10	3	45	120(3)	28(10)	50	—6;+6	300	—60...+100
2C168A	6,8	10	10	3	45	70(3)	20(10)	50	—6;+6	300	—60...+125
2CM168B	6,8	(0,8)	—	3	15	40(3)	15(10)	—	0;+7	—	—60...+125
KC168B	6,8	(0,5)	—	3	20	120(3)	28(10)	—	±5	150	—55...+100
2C168B	6,8	5	—	3	20	120(3)	28(10)	(20)	±5	150	—60...+125
2C168K	6,8	5	—	0,5	2,94	—	220(0,5)	[30]	5	20	—60...+125
KC170A	7	(0,35)	10	3	20	90(3)	20(10)	—	±1	150	—55...+100
2C170A	7	5	10	3	20	100(3)	18(10)	(20)	±1	150	—60...+125
KC175A	7,5	(0,5)	10	3	18	70(3)	16(5)	—	±4	150	—55...+100
2C175A	7,5	5	10	3	18	70(3)	16(5)	(18)	±4	150	—60...+125
2C175E	7,5	5	—	3	20	—	30(5)	20(200)	10	150	—60...+125
2C175Ж	7,5	(0,4)	—	0,5	17	200(0,5)	40(4)	50	+7	125	—60...+125
2C175K	7,5	5	—	0,5	2,66	—	220(0,5)	[30]	6,5	20	—60...+125
2CM180A	8	—	—	3	15	15(1)	8(5)	—	+7	125	—60...+125
KC182A	8,2	(0,6)	10	3	17	30(3)	14(5)	—	+5	150	—55...+100
2C182A	8,2	5	10	3	17	30(3)	14(5)	(17)	+4	150	—60...+125
2C182E	8,2	5	10	3	18	—	30(5)	20(200)	10	150	—60...+125
2C182Ж	8,2	(0,5)	10	0,5	15	200(0,5)	40(4)	50	+8	125	—60...+125
2C182K	8,2	5	—	0,5	2,44	—	220(0,5)	[30]	7,5	20	—60...+125
2CM190A	9	—	—	3	13	22(1)	12(5)	—	+8	125	—60...+125
KC191A	9,1	(0,6)	10	3	15	30(3)	18(5)	—	+6	150	—55...+100
2C191A	9,1	5	10	3	15	30(3)	18(5)	(15)	+6	150	—60...+125

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KC191M	9,1	5	—	5	15	39(5)	18(10)	—	$\pm 0,5$	150	$-60...+100$
KC191H	9,1	5	10	5	15	39(5)	18(10)	—	$\pm 0,2$	150	$-60...+100$
KC191П	9,1	5	10	5	15	39(5)	18(10)	—	$\pm 0,1$	150	$-60...+100$
KC191P	9,1	5	10	5	15	39(5)	18(10)	—	$\pm 0,05$	150	$-60...+100$
2C191E	9,1	5	10	3	16	—	30(5)	20(200)	10	150	$-60...+125$
2C191Ж	9,1	(0,5)	—	0,5	14	200(0,5)	40(4)	50	+9	125	$-60...+125$
2C191K	9,1	5	—	0,5	2,2	—	220(0,5)	[30]	8	20	$-60...+125$
Прецизион- ные											
KC196A	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,5$	200	$-60...+100$
2C196A	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,5$	200	$-60...+125$
KC196Б	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,25$	200	$-60...+100$
2C196Б	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,25$	200	$-60...+125$
KC196B	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,1$	200	$-60...+100$
2C196B	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,1$	200	$-60...+125$
KC196Г	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,05$	200	$-60...+100$
2C196Г	9,6	5	10	3	20	70(3)	18(10)	—	$\pm 0,05$	200	$-60...+125$
2CM210A	10,5	—	—	3	11	32(1)	15(5)	—	+9	125	$-60...+125$
KC210Б	10	(0,7)	5	3	14	35(3)	22(5)	—	+7	150	$-55...+100$
2C210Б	10	5	—	3	14	35(3)	22(5)	(14)	+6	150	$-60...+125$
2C210E	10	5	—	3	15	—	30(5)	20(200)	10	150	$-60...+125$
2C210Ж	10	(0,5)	—	0,5	13	200(0,5)	40(4)	50	+9	125	$-60...+125$
2CM211A	11	—	—	3	10	36(1)	19(5)	—	+9,5	125	$-60...+125$
KC211Б	11	+15	10	5	33	30(5)	15(10)	—	+2	280	$-60...+120$
KC211B	11	—15	10	5	33	30(5)	15(10)	—	—2	280	$-60...+120$
KC211Г	11	± 10	10	5	33	30(5)	15(10)	—	± 1	280	$-60...+120$
KC211Д	11	± 10	10	5	33	30(5)	15(10)	—	$\pm 0,5$	280	$-60...+120$
2C211H	11	5	—	3	13	40(3)	23(5)	(13)	+7	150	$-60...+125$
2C211E	11	5	—	3	14	—	30(5)	20(200)	10	150	$-60...+125$
2C211Ж	11	(0,6)	—	0,5	12	200(0,5)	40(4)	50	+9,2	125	$-60...+125$
2C211K	11	5	—	0,5	1,8	—	220(0,5)	[30]	9,5	20	$-60...+125$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2С212К	12	5	—	0,5	1,7	—	220(0,5)	[30]	9,5	20	—60...+125
2С212В	12	5	—	3	12	45(3)	24(5)	(12)	+7,5	150	—60...+125
2С212Е	12	5	—	3	13	—	30(5)	20(200)	10	150	—60...+125
2С212Ж	12	(0,6)	—	0,5	11	200(0,5)	40(4)	50	+9,5	125	—60...+125
2СМ213А	13	—	—	3	9	44(1)	22(5)	—	+9,5	125	—60...+125
КС213Б	13	(0,9)	5	3	10	45(3)	25(5)	—	+8	150	—55...+100
2С213Б	13	5	5	3	10	45(3)	25(5)	(10)	+7,5	150	—60...+125
2С213Е	13	5	—	3	12	—	30(5)	20(200)	10	150	—60...+125
2С213Ж	13	(0,7)	—	0,5	10	200(0,5)	40(4)	50	+9,5	125	—60...+125
2С215Ж	15	(0,8)	—	0,5	8,3	300(0,5)	70(2)	50	10	125	—60...+125
2С216Ж	16	(0,9)	—	0,5	7,8	300(0,5)	70(2)	50	10	125	—60...+125
2С218Ж	18	(1)	—	0,5	6,9	300(0,5)	70(2)	50	10	125	—60...+125
2С220Ж	20	(1)	—	0,5	6,2	300(0,5)	70(2)	50	10	125	—60...+125
2С222Ж	22	(1,1)	—	0,5	5,7	300(0,5)	70(2)	50	10	125	—60...+125
2С224Ж	24	(1,2)	—	0,5	5,2	300(0,5)	70(2)	50	10	125	—60...+125
2С291А	91	(5)	—	0,5	2,7	1600(0,5)	700(1)	50	11	250	—60...+125
2С107А	0,7	10	—	1	100	50(1)	7(10)	500	(2)	—	—60...+125
2С113А	1,3	10	—	1	100	90(1)	12(10)	200	(—3)	—	—60...+125
2С119А	1,9	10	—	1	100	130(1)	15(10)	200	(—4)	—	—60...+125
2С120К	10	5	—	0,5	2	—	220(0,5)	[30]	9	20	—60...+125
Стабисторы											
Д220С	1,5	—	50	—	—	—	—	—	—	—	—60...+125
Д223С	1,0	—	50	—	—	—	—	—	—	—	—60...+125
7ГЕ1А-С	0,72	10	1	0,5	10	—	50	6	(—2,5)	—	—25...+60
7ГЕ2А-С	1,44	10	1	0,5	10	—	100	6	(—5)	—	—25...+60
7ГЕ3А-С	2,1—2,4	—	—	1	10	—	150	—	(—7,5)	—	—25...+60

Примечания: 1. $U_{пр}$ для стабилитронов типа Д818—Д813, КС133А, КС139А, КС147А, КС156А и КС168А равно 1 В; 2. $U_{обр}$ для стабисторов типа 7ГЕ1А-С равно 20 В, для 7ГЕ2А-С — 40 В; 3. Полная емкость для стабилитронов соответственно равна: для 2С162А — 690 пФ; 2С168 В — 620 пФ; 2С168К, 2С175Е, 2С175К, 2С182Е, 2С182К, 2С191Е, 2С191К, 2С210Е, 2С211Е, 2С211К, 2С212К, 2С212Е, 2С213Е, 2С120К — 15 пФ; 2С170А — 590 пФ; 2С175А — 540 пФ; 2С182А — 480 пФ; 2С191А — 420 пФ; 2С210Б — 370 пФ; 2С211И — 340 пФ; 2С212В — 300 пФ; 2С213Б — 280 пФ.

Табл. 13.3. Параметры стабилитронов средней мощности

Тип стабили- трона	$U_{ст}$, В	$\Delta U_{ст}$, $\pm\%$ (В)	$I_{ст}$, мА		$r_{ст1}$ (при $I_{ст1}$, мА), Ом	$r_{ст2}$ (при $I_{ст2}$, мА), Ом	$P_{макс}$, Вт	$\alpha_{ст} \cdot 10^{-2}$, %/°C	$U_{пр}$, В	$I_{пр, макс}$ ($I_{пр, н. макс}$), А	Диапазон рабочих температур, °C
			мин	макс							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Д814А	7—8,5	(0,043)	3	40	—	6(5)	0,34	+7	1	0,05	—60...+100
Д814Б	8—9,5	(0,048)	3	36	—	10(5)	0,34	+8	1	0,05	—60...+100
Д814В	9—10,5	(0,053)	3	32	—	12(5)	0,34	+9	1	0,05	—60...+100
Д814Г	10—12	(0,06)	3	29	—	15(5)	0,34	+9,5	1	0,05	—60...+100
Д814Д	11,5—14	(0,07)	3	24	—	18(5)	0,34	9,5	1	0,05	—60...+100
Д816А	22	15	10	230	240(10)	10(150)	5	+15	1,5	1	—60...+100
Д816Б	27	15	10	180	300(10)	12(150)	5	15	1,5	1	—60...+100
Д816В	33	15	10	150	300(10)	15(150)	5	15	1,5	1	—60...+100
Д816Г	39	15	10	130	300(10)	18(150)	5	15	1,5	1	—60...+100
Д816Д	47	15	10	110	300(10)	22(150)	5	15	1,5	1	—60...+100
Д817А	56	15	5	90	400(5)	47(50)	5	+18	1,5	1	—60...+100
Д817Б	68	15	5	75	400(5)	56(50)	5	+18	1,5	1	—60...+100
Д817В	82	15	5	60	600(5)	68(50)	5	+18	1,5	1	—60...+100
Д817Г	100	15	5	50	800(5)	82(50)	5	+18	1,5	1	—60...+100
КС433А	3,3	10	3	191	180(3)	25(30)	1	—10	—	—	—60...+100
2С433А	3,3	10	3	191	180(3)	14(60)	1	—10	—	—	—60...+125
КС439А	3,9	10	3	176	180(3)	25(30)	1	—10	—	—	—60...+100
2С439А	3,9	10	3	176	180(3)	12(51)	1	—10	—	—	—60...+125
КС447А	4,7	10	3	159	180(3)	18(30)	1	—8;+3	—	—	—60...+100
2С447А	4,7	10	3	159	180(3)	10(43)	1	—8;+3	—	—	—60...+125

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KC456A	5,6	10	3	139	145(3)	12(30)	1	0; +5	—	—	—60...+100
2C456A	5,6	10	3	139	145(3)	7(35)	1	+5	—	—	—60...+125
KC468A	6,8	10	3	119	70(3)	5(30)	1	0; +6,5	—	—	—60...+100
2C468A	6,8	10	3	119	70(3)	5(29)	1	+6,5	—	—	—60...+125
KC482A	8,2	10	1	96	200(1)	25(5)	1	8	—	0,05	—60...+100
2C482A	8,2	10	1	93	200(1)	25(5)	1	8	—	0,05	—60...+125
KC510A	10	10	1	79	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+100
2C510A	10	10	1	79	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC512A	12	10	1	67	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+100
2C512A	12	10	1	67	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC515A	15	10	1	53	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+100
2C515A	15	10	1	53	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC518A	18	10	1	45	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+100
2C518A	18	10	1	45	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC520B	20	5	3	22	210(3)	120(5)	0,5	±1	—	—	—55...+100
KC522A	22	10	1	37	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+100
2C522A	22	10	1	37	200(1)	25(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
2C524A	24	10	1	33	200(1)	30(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC527A	27	10	1	30	200(1)	40(5)	1	10	—	0,05	—60...+100
2C527A	27	10	1	30	200(1)	40(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
2C530A	30	5	1	27	200(1)	45(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC531B	31	5	3	15	350(3)	50(10)	0,5	±0,5	—	—	—55...+100

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KC533A	33	10	3	17	100(3)	40(10)	0,64	10	1	—	—40...+85
2C536A	36	5	1	23	240(1)	50(5)	1	10	—	0,05	—60...+125
KC547B	47	5	3	10	450(3)	280(5)	0,5	±1	—	—	—55...+100
2C551A	51	(3)	1	14,6	300(1)	200(1,5)	1	12	—	0,05	—60...+125
KC568B	68	5	3	10	700(3)	400(5)	0,72	±1	—	—	—55...+100
2C591A	91	5	1	8,8	600(1)	400(1,5)	1	12	—	0,05	—60...+125
KC596B	96	5	3	7	980(3)	560(5)	0,72	±1	—	—	—55...+100
2C600A	100	(5)	1	8,1	700(1)	450(1,5)	1	12	—	0,05	—60...+125
KC620A											
KC620АП ¹	120	15	5	42	1000(5)	150(50)	5	+20	1,5	1	—60...+100
2C920A	120	10	5	42	500(5)	100(50)	5	16	1,5	1	—60...+130
KC630A, KC630АП	130	15	5	38	1000(5)	180(50)	5	+20	1,5	1	—60...+100
2C930A	130	10	5	38	800(5)	120(50)	5	16	1,5	1	—60...+130
KC650A KC650АП	150	15	2,5	33	2400(2,5)	270(30)	5	+20	1,5	1	—60...+100
2C950A	150	10	2,5	33	1200(2,5)	170(25)	5	16	1,5	1	—60...+130
KC680A KC680АП	180	15	2,5	28	3000(2,5)	330(30)	5	+20	1,5	1	—60...+100
2C980A	180	10	2,5	28	1500(2,5)	220(25)	5	16	1,5	1	—60...+130

¹ Стабилитроны средней мощности, имеющие в обозначении букву П, предназначены для применения в устройствах, где с монтажным металлическим шасси должен соединяться отрицательный полюс стабилизированного напряжения (такие стабилитроны отличаются обратной полярностью выводов).

Табл. 13.4. Параметры стабилизаторов большой мощности

Тип стабилизатора	$U_{ст}$, В	$\Delta U_{ст}$, ±%	$P_{макс}$, Вт	$r_{ст1}$ Ом (при $I_{ст1}$, мА)	$r_{ст2}$ Ом (при $I_{ст2}$, мА)	$U_{пр}$, В	$\alpha_{ст}$, %/°C ($\alpha_{ст} \cdot 10^{-2}$)	$I_{ст}$, мА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д815А	5,6	15	8	39(50)	1(1000)	1,5	(±6)	50...1400
Д815Б	6,8	15	8	27(50)	1,2(1000)	1,5	(±6)	50...1150
Д815В	8,2	15	8	15(50)	1,5(1000)	1,5	(±9)	50...950
Д815Г	10	15	8	27(25)	2,7(500)	1,5	(+10)	25...800
Д815Д	12	15	8	39(25)	3,3(500)	1,5	(+11)	25...650
Д815Е	15	15	8	47(25)	3,9(500)	1,5	(+13)	25...500
Д815Ж	18	15	8	56(25)	4,7(500)	1,5	(+14)	25...450
Д815И	4,7	15	8	39(50)	0,82(1000)	1,5	(±6)	50...1400
СК-50 5,6/4000	5,6	—	50	0,6	—	—	0,045	4000
СК-50 6,8/4000	6,8	—	50	0,8	—	—	0,05	4000
СК-50 8,2/4000	8,2	—	50	1,0	—	—	0,07	4000
СК-50 10/3000	10	—	50	1,8	—	—	0,08	3000
СК-50 12/3000	12	—	50	2,0	—	—	0,09	3000
СК-50 15/3000	15	—	50	2,5	—	—	0,1	3000
СК-50 18/2500	18	—	50	3,0	—	—	0,11	2500
СК-50 22/2000	22	—	50	5,0	—	—	0,12	2000
СК-50 24/2000	24	—	50	6,0	—	—	0,12	2000
СК-50 28/1500	28	—	50	8,0	—	—	0,12	1500
СК-50 30/1500	30	—	50	9,0	—	—	0,12	1500
СК-50 36/1000	36	—	50	10,0	—	—	0,12	1000
СК-50 43/1000	43	—	50	12,0	—	—	0,14	1000
СК-50 51/800	51	—	50	14	—	—	0,14	800
СК-50 62/800	62	—	50	25	—	—	0,14	800
СК-50 75/600	75	—	50	30	—	—	0,14	600
СК-50 91/500	91	—	50	35	—	—	0,14	500
СК-50 110/400	110	—	50	45	—	—	0,15	400
СК-50 120/400	120	—	50	60	—	—	0,15	400
СК-50 150/300	150	—	50	65	—	—	0,15	300
СК-50 180/250	180	—	50	70	—	—	0,15	250
СК-50 220/200	220	—	50	80	—	—	0,15	200
СК-50 270/150	270	—	50	100	—	—	0,15	150
СК-50 300/150	300	—	50	120	—	—	0,15	150
СК-50 400/100	400	—	50	120	—	—	0,15	150
СК-15 5,6/2000	5,6	—	15	0,5	—	—	0,045	2000
СК-15 6,8/2000	6,8	—	15	0,7	—	—	0,05	2000
СК-15 8,2/2000	8,2	—	15	0,9	—	—	0,07	2000
СК-15 10/1000	10	—	15	1,0	—	—	0,08	1000
СК-15 12/1000	12	—	15	1,5	—	—	0,09	1000
СК-15 15/1000	15	—	15	2,0	—	—	0,1	1000
СК-15 18/700	18	—	15	2,5	—	—	0,11	700
СК-15 22/300	22	—	15	3,5	—	—	0,12	300
СК-15 24/300	24	—	15	4,0	—	—	0,12	300
СК-15 28/300	28	—	15	5,0	—	—	0,12	300
СК-15 30/300	30	—	15	8,0	—	—	0,12	300
СК-15 36/200	36	—	15	9,0	—	—	0,12	200

1	2	3	4	5	6	7	8	9
СК-15 43/200	43	—	15	10	—	—	0,12	200
СК-15 51/200	51	—	15	12	—	—	0,12	200
СК-15 62/100	62	—	15	25	—	—	0,14	100
СК-15 75/100	75	—	15	30	—	—	0,14	100
СК-15 91/100	91	—	15	35	—	—	0,14	100
СК-15 110/100	110	—	15	45	—	—	0,14	100
СК-15 120/100	120	—	15	50	—	—	0,14	100
СК-15 150/100	150	—	15	55	—	—	0,14	100
СК-15 180/50	180	—	15	70	—	—	0,15	50
СК-15 220/50	220	—	15	80	—	—	0,15	50
СК-15 270/50	270	—	15	100	—	—	0,15	50
СК-15 300/50	300	—	15	120	—	—	0,15	50
СК-15 400/50	400	—	15	150	—	—	0,15	50

13.3. Электрические параметры стабилитронов и стабисторов

Электрические параметры стабилитронов и стабисторов малой мощности приведены в табл. 13.2, средней мощности — в табл. 13.3, большой мощности — в табл. 13.4.

Кремниевые стабилитроны малой и средней мощности выпускают на напряжение стабилизации от 3 до 180 В, селеновые стабисторы — на напряжение стабилизации 0,7 (7ГЕ1А-С) и 1,4 В (7ГЕ2А-С). Температурный коэффициент прямого напряжения ТКПН составляет примерно 2 мВ/град. С увеличением прямого тока до десятков миллиампер он уменьшается примерно до 1,4 мВ/град. Это свойство стабилитронов широко используется для взаимной компенсации температурных изменений напряжения стабилизации. Для этого последовательно нормально включенному стабилитрону присоединяют обычно несколько стабилитронов, включенных в прямом направлении. Величина ТКПН зависит от напряжения стабилизации. Низковольтные стабилитроны имеют отрицательный ТКПН, высоковольтные — положительный.

13.4. Варикапы

В а р и к а п о м называют полупроводниковый диод, в котором используется зависимость емкости от величины обратного напряжения и который предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой емкостью. Варикап, предназначенный для умножения частоты сигнала, называют *варактором*.

Варикапы, как и стабилитроны, работают при обратных смещениях. При изменении обратного напряжения, приложенного к переходу, емкость последнего изменяется в широких пределах. Так, при увеличении обратного напряжения толщина перехода («диэлектрика») увеличивается, а емкость уменьшается.

В качестве низкочастотных варикапов применяются плоскостные диоды, изготовленные из кремния или арсенида галлия. В качест-

Табл. 13.5. Параметры варикапов и варикапных сборок

Тип варикапа (сборки)	$C_{\text{в}}^1$, пФ (при $U_{\text{обр}}$, В)	$K_{\text{с}}$	$I_{\text{обр}}$, мкА	$P_{\text{макс}}$, мВт	$U_{\text{обр, макс}}$, В	$Q_{\text{в}}^2$	Диапазон рабочих температур, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
KB101A Д90?	160...240(0,8) 6...12	1,1—1,2 —	1 10	— —	4 25	12 30	—10...+55 —40...+100
KB102A	14...23(4)	2,5	1	90	45	40	—40...+85
KB102Б	19...30(4)	2,5	1	90	45	40	—40...+85
KB102В	15...40(4)	2,5	1	90	45	40	—40...+85
KB102Г	19...30(4)	2,5	1	90	80	100	—40...+85
KB102Д	19...30(4)	3,5	1	90	80	40	—40...+85
2В102А	20...25(4)	—	1	90	45	40	—60...+120
2В102Б	12...27(4)	—	1	90	45	40	—60...+120
2В102В	25...37(4)	—	1	90	45	50	—60...+120
2В102Г	14...22(4)	—	1	90	45	50	—60...+120
2В102Д	19...28(4)	—	1	90	45	100	—60...+120
2В102Е	25...37(4)	—	1	90	45	100	—60...+120
2В102Ж	19...28(4)	—	1	90	80	50	—60...+120
KB103А	18...32(4)	—	10	5000	80	50	—40...+85
KB103Б	28...48(4)	—	10	5000	80	40	—40...+85
2В103А	18...32(4)	—	10	5000	80	50	—60...+120
2В103Б	28...48(4)	—	10	5000	80	40	—60...+120
KB104А	90...120(4)	2,5	5	100	45	100	—40...+85
KB104Б	105...144(4)	2,5	5	100	45	100	—40...+85
KB104В	128...192(4)	2,5	5	100	45	100	—40...+85
KB104Г	95...143(4)	3,5	5	100	80	100	—40...+85
KB104Д	128...192(4)	3,5	5	100	80	100	—40...+85
KB104Е	95...143(4)	2,5	5	100	45	150	—40...+85
2В104А	90...120(4)	—	5	100	45	100	—60...+120
2В104Б	106...144(4)	—	5	100	45	100	—60...+120
2В104В	128...192(4)	—	5	100	45	100	—60...+120
2В104Г	95...143(4)	—	50	100	80	100	—60...+120
2В104Д	128...192(4)	—	5	100	80	100	—60...+120
2В104Е	95...143(4)	—	5	100	45	150	—60...+120
KB105А	400...600(4)	3,8	50	150	90	500	—60...+100
KB105Б	400...600(4)	3	50	150	50	500	—60...+100
2В105А	400...600(4)	4	30	150	90	500	—60...+125
2В105Б	400...600(4)	3	30	150	50	500	—60...+125
KB106А	20...50(4)	—	20	7000	120	40	—55...+100
2В106А	20...50(4)	—	20	7000	120	40	—60...+120
KB106Б	15...35(4)	—	20	5000	90	60	—55...+100
2В106Б	15...35(4)	—	20	5000	90	60	—60...+120
KB107А	10...40(2...9)	1,5	100	100	5,5...16	20	—40...+70
KB107Б	10...40(6...18)	1,5	100	100	13...31	20	—40...+70
KB107В	30...65(2...9)	1,5	100	100	5,5...16	20	—40...+70
KB107Г	30...65(6...18)	1,5	100	100	13...31	20	—40...+70

1	2	3	4	5	6	7	8
KB103A	2,3...2,8(25)	4...5,5	0,5	5	25	300	-40...+85
KB109Б	2...2,3(25)	4,5...6,5	0,5	5	25	300	-40...+85
KB109В	8...16(3)	4...6	0,5	5	25	160	-40...+85
KB109Г	8...17(3)	4	0,5	5	25	160	-40...+85
KB110A	12...18(4)	2,5	1	100	45	300	-60...+125
2B110A	12...18(4)	2,5	1	100	45	300	-60...+125
KB110Б	14,4...21,6(4)	2,5	1	100	45	300	-60...+125
2B110Б	14,4...21,6(4)	2,5	1	100	45	300	-60...+125
KB110В	16,6...26,4(4)	2,5	1	100	45	300	-60...+125
2B110В	16,6...26,4(4)	2,5	1	100	45	300	-60...+125
KB110Г	12...18(4)	2,5	1	100	45	150	-60...+125
2B110Г	12...18(4)	2,5	1	100	45	150	-60...+125
KB110Д	14,4...21,6(4)	2,5	1	100	45	150	-60...+125
2B110Д	14,4...21,6(4)	2,5	1	100	45	150	-60...+125
KB110Е	17,6...26,4(4)	2,5	1	100	45	150	-60...+125
2B110Е	17,6...26,4(4)	2,5	1	100	45	150	-60...+125
KBC111A	26,4...39,6(4)	2,1	1	—	30	200	-60...+100
KBC111Б	26,4...39,6(4)	2,1	1	—	30	150	-60...+100

¹ При $f=1...10$ МГц (для KB105, 2B105, KBC111 $f=1$ МГц).

² При значениях $U_{обр}$, что и для C_v при $f=50$ МГц (для KB104, 2B104, KB107, KB101A $f=10$ МГц, для KB105, 2B105 $f=1$ МГц).

ве высокочастотных и сверхвысокочастотных варикапов (параметрических диодов) применяются плоскостные диоды на основе германия или арсенида галлия. Варикапы изготавливаются также и с полусферической формой перехода (точечные).

Варикапы типов KB102A...KB102Д и KB104A...KB104Е изготавливаются в бескорпусном исполнении, варикапы KB105A...KB105Б — в металлическом корпусе, Д901А...Д901Е — в металлическом и металлостеклянном, Д902 — в металлическом корпусе.

Конструкция варикапа показана на рис. 13.3.

Варикапы широко используются, например, в устройствах автоподстройки частоты, генераторах (в качестве частотного модулятора), гетеродинах с электронной перестройкой частоты.

Варикапные матрицы KBC111A и KBC111Б предназначены для использования в УКВ блоках радиовещательных приемников и селекторах каналов телевизоров в качестве подстроечных конденсаторов резонансных контуров, емкость которых изменяют путем изменения обратного смещения.

Матрица содержит два встречно включенных эпитаксиально-планарных варикапа с общим выводом катода, что позволяет включать ее в контур без разделительного конденсатора.

Корпус матрицы пластмассовый, выводы ленточные. Маркировочная точка на приборе KBC111A — белая, на приборе KB111Б — оранжевая.

Основными электрическими параметрами варикапов являются следующие.

Общая емкость варикапа C_v — емкость, измеренная между выводами варикапа при заданном обратном напряжении.

Коэффициент перекрытия по емкости варикапа K_C — отношение емкостей варикапа при двух заданных значениях обратных напряжений.

Сопротивление потерь варикапа r_n — суммарное активное сопротивление кристалла, контактных соединений и выводов варикапа.

Добротность подстроечного варикапа Q_v — отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте переменного сигнала к сопротивлению потерь при заданном значении емкости или обратного напряжения.

Постоянный обратный ток варикапа $I_{обр}$ — постоянный ток, протекающий через варикап в обратном направлении, при заданном обратном напряжении.

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение варикапа $U_{обр, макс}$

Максимально допустимая рассеиваемая мощность варикапа $P_{макс}$

Электрические параметры варикапов приведены в табл. 13.5.

ТРАНЗИСТОРЫ

14. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

14.1. Устройство и принцип действия

Транзистором называют электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним или несколькими электрическими переходами, пригодный для усиления мощности, имеющий три или более выводов (ГОСТ 15133—69).

Транзисторы делят на биполярные и униполярные (полевые). Они различаются между собой принципом действия.

Биполярный транзистор — транзистор, в котором используются заряды носителей обеих полярностей. В отличие от полупроводниковых диодов транзисторы имеют два электронно-дырочных перехода.

Основанием прибора служит пластина полупроводника (германия или кремния), называемая *базой*. С двух сторон в нее вплавлена примесь, создающая области с проводимостью, отличной от проводимости базы. Таким образом получают транзистор типа $n-p-n$, когда крайние области являются полупроводниками с электронной проводимостью, а средняя — полупроводником с дырочной проводимостью, и транзистор типа $p-n-p$, когда крайние области являются полупроводниками с дырочной проводимостью, а средняя — полупроводником с электронной проводимостью. Нижнюю область транзистора называют *эмиттером*, верхнюю — *коллектором*. На границах областей с различной проводимостью образуется два перехода. Переход, образованный вблизи эмиттера, называют *эмиттерным*, вблизи коллектора — *коллекторным*. К базе, эмиттеру и коллектору припаяны выводы, образующие с ними омический контакт. Таким образом, транзистор представляет собой структуру из трех областей, проводимость крайних областей которой отлична от проводимости средней области.

При использовании транзистора в схемах на его переходы подают внешние напряжения (рис. 14.1). В зависимости от полярности этих напряжений каждый из двух переходов может быть включен либо в прямом, либо в обратном направлении. Соответственно различают три режима работы транзистора: 1) *режим отсечки*, когда оба перехода заперты; 2) *режим насыщения*, когда оба перехода отперты; 3) *активный режим*, когда эмиттерный переход частично отперт, а коллекторный заперт. Если же эмиттерный переход смещен в обратном направлении, а коллекторный — в прямом, то го-

воят, что транзистор работает в *обращенном (инверсном)* включении.

Чаще всего транзистор работает в активном режиме. В этом режиме для смещения эмиттерного перехода в прямом направлении на базу транзистора типа $p-n-p$ относительно эмиттера подают отрицательное напряжение $U_{БЭ}$. Его величина для транзисторов малой мощности обычно составляет несколько долей вольта. Под

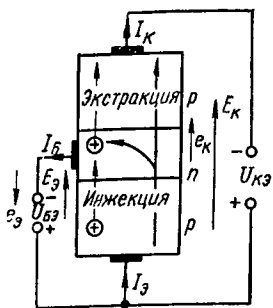


Рис. 14.1. Структура и схема подачи напряжений на электроды транзистора

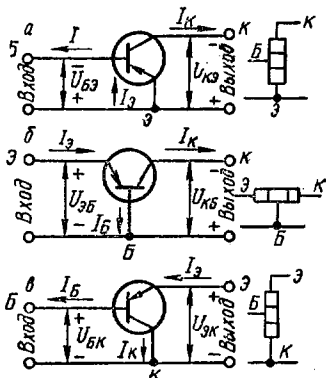


Рис. 14.2. Схемы включения транзистора:
а — с общим эмиттером; б — с общей базой; в — с общим коллектором

действием этого напряжения создается внешнее электрическое поле, вектор напряженности которого $E_{\text{э}}$ направлен навстречу вектору диффузионного поля $e_{\text{э}}$. Чем больше напряжение $U_{БЭ}$, тем ниже потенциальный барьер в эмиттерном переходе, тем больше носителей заряда преодолевает его и попадает из эмиттера в базу.

Поскольку эмиттер транзистора является источником носителей заряда, концентрация последних в нем должна быть высокой, что достигается введением в него большого количества примеси.

Особенность транзистора заключается во взаимном влиянии друг на друга эмиттерного и коллекторного переходов. Для того чтобы такое влияние было эффективным, необходимо выполнение ряда требований. В базе транзистора происходит рекомбинация носителей заряда. Желательно, чтобы она была незначительной. С этой целью уменьшают ширину базы и концентрацию носителей заряда в ней. Последнее достигается введением в базу небольшого количества примеси.

В активном (усилительном) режиме коллекторный переход смещен в обратном направлении отрицательным напряжением $U_{КБ}$. Оно в несколько раз больше напряжения $U_{БЭ}$.

При смещении коллекторного перехода в обратном направлении через него будет протекать слабый ток, аналогичный обратному току в полупроводниковом диоде. Его называют обратным током коллектора $I_{КБО}$ и измеряют при разомкнутом выводе эмиттера.

У транзисторов малой мощности величина обратного тока не превышает нескольких микроампер, а у транзисторов большой мощности — сотен микроампер.

Концентрация примеси в коллекторе должна быть меньше, чем в эмиттере, поскольку в этом случае коллекторный переход получается более широким и возрастает его напряжение пробоя. Площадь коллекторного перехода должна быть в несколько раз больше площади эмиттерного перехода, что позволяет коллектору собирать даже те неосновные носители заряда, которые передвигаются от эмиттера под некоторым углом к оси транзистора.

Вследствие снижения потенциального барьера эмиттерного перехода дырки инжектируют из эмиттера в базу и проникают в область коллекторного перехода. Вблизи него они попадают в ускоряющее поле, созданное напряжением $U_{кэ}$, и втягиваются в коллектор — происходит экстракция дырок. (*Экстракцией* называют выведение носителей заряда из области полупроводника, где они являются неосновными, через электронно-дырочный переход ускоряющим электрическим полем, создаваемым внешним источником напряжения.) Таким образом, оказывается замкнутой цепь тока I_k коллектор — эмиттер.

Перенос неосновных носителей заряда (в рассматриваемом случае дырок) через базовую область может осуществляться посредством диффузии или дрейфа. В связи с этим различают транзисторы бездрейфовые и дрейфовые. *Бездрейфовые* транзисторы получают методом сплавления, *дрейфовые* — методом диффузии примесей.

Если толщина базы достаточно мала и концентрация электронов в ней невелика, то большинство дырок, пройдя через нее, не успевает рекомбинировать с электронами в базе и достигает коллекторного перехода. Лишь небольшая часть дырок рекомбинирует в базе. Уменьшение числа электронов в базе вследствие рекомбинации компенсируется источником $U_{бэ}$, в результате чего в цепи базы возникает ток I_b .

Из рассмотрения принципа действия транзистора следует, что ток, текущий через эмиттерный переход, является управляющим током, от величины которого зависит ток в цепи коллектора (управляемый ток). Ток эмиттера представляет собой сумму тока базы и тока коллектора. Увеличение тока базы приводит к росту числа дырок, инжектируемых в базу и попадающих в коллектор, увеличивая тем самым ток коллектора.

Таким образом, величиной тока коллектора можно управлять, изменяя ток базы. На этом явлении и основано усиление электрических колебаний с помощью транзистора.

Сравнивая транзистор с ламповым триодом можно заключить, что эмиттер выполняет функцию катода, база — функцию сетки, а коллектор функцию анода. В отличие от лампы, управляемой напряжением, транзистор управляется током. В то время как лампа в большинстве случаев работает без сеточного тока, транзистор не может работать без тока базы. Наличие тока базы является недостатком транзистора.

Процессы в транзисторе типа $n-p-n$ аналогичны процессам в транзисторе $p-n-p$ с той лишь разницей, что в транзисторе $n-p-n$ происходит инжекция электронов, а не дырок, токи имеют противоположное направление и на электроды подаются напряжения другой полярности.

Аналогично ламповому триоду транзистор может быть включен в схему тремя различными способами. При этом один из его электродов обязательно будет общим. Он и определяет название способа включения транзистора.

В схеме с общим эмиттером (ОЭ) общим электродом, относительно которого отсчитываются напряжения базы и коллектора, является эмиттер (рис. 14.2, а). Как видно из схемы, входными величинами являются ток базы I_B и напряжение $U_{БЭ}$, а выходными — ток коллектора I_K и напряжение $U_{КЭ}$.

В схеме с общей базой (ОБ) (рис. 14.2, б) общим электродом для эмиттерной и коллекторной цепи является база. Входными величинами являются ток эмиттера $I_Э$ и напряжение $U_{ЭБ}$, а выходными — ток коллектора I_K и напряжение $U_{КБ}$.

В схеме с общим коллектором (ОК) (рис. 14.2, в) общим электродом для входной и выходной цепи служит коллектор. Входными величинами являются ток базы I_B и напряжение $U_{БК}$, а выходными — ток эмиттера $I_Э$ и напряжение $U_{ЭК}$.

Схема с общим эмиттером дает усиление по напряжению, достигающее нескольких сот и меньшее усиление по току (не более 100). Схема имеет большое усиление по мощности, достигающее 40 дБ. Входное сопротивление схемы достигает значений 2000 Ом. Значительное входное сопротивление схемы позволяет применить в ней переходные конденсаторы небольшой емкости. Выходное сопротивление достигает значений 100 кОм. Схема с общим эмиттером изменяет фазу сигнала на выходе на 180° по сравнению с входом.

Благодаря простоте и компактности, большому коэффициенту усиления мощности схема с общим эмиттером находит наибольшее применение.

Схема с общей базой имеет малое входное сопротивление (< 100 Ом). Выходное сопротивление схемы велико и может достигать значений 1 МОм. Усиление по току отсутствует, а усиление по напряжению такое же, как и в схеме с общим эмиттером. Усиление по мощности несколько ниже, чем в схеме с общим эмиттером. Выходное напряжение повторяет по фазе входной сигнал. Вследствие большой разницы между входным и выходным сопротивлениями последовательное соединение каскадов по схеме с общей базой целесообразно только при трансформаторной связи между каскадами. Преимуществом этой схемы по сравнению со схемой с общим эмиттером является большая линейность характеристик и большая предельная частота усиления по току. Поэтому схему с общей базой применяют для усиления высоких частот и в усилителях мощности. Такой каскад можно применить в качестве входного при получении сигнала от прибора с низкоомным выходом.

Схема с общим коллектором называется эмиттерным повторителем и отличается высоким входным (>200 кОм) и низким выходным (<10 кОм) сопротивлением. Поскольку все выходное напряжение в схеме вводится в цепь эмиттерного перехода в противоположной входному сигналу полярности, эта схема имеет глубокую отрицательную обратную связь и не дает усиления по напряжению. Усиление по току составляет <100 , усиление по мощности — не более 15 дБ. Схема с общим коллектором используется во входных каскадах усилителей или для согласования двух каскадов усилителя, т. е. согласования высокого выходного сопротивления предыдущего каскада с малым входным сопротивлением следующего, обычно выходного, каскада.

Из рассмотренных схем наибольший интерес представляет схема с общим эмиттером. Схемы включения с общей базой и общим коллектором представляют схемы с общим эмиттером, охваченные внешней обратной связью. При включении по схеме с общей базой транзистор дает небольшие нелинейные искажения, и свойства каскада мало меняются при изменении температуры и замене транзистора.

При включении по схеме с общим эмиттером снижается необходимая входная мощность сигнала по сравнению с включением по схеме с общей базой (малое входное сопротивление), но возрастает коэффициент гармоник (нелинейные искажения). Замена транзистора изменяет усиление и характеристики каскада значительно сильнее, чем в схеме с общей базой. Схема с общим коллектором также критична к замене транзисторов и требует примерно такой же мощности входного сигнала, как и схема с общей базой. Включение по схеме с общим коллектором дает очень малый коэффициент гармоник при малом сопротивлении источника сигнала. Включение транзистора по схеме с общим эмиттером позволяет получить от каскада наибольшее усиление. В первом каскаде усилителя при высоком сопротивлении источника сигнала (порядка 10 кОм и выше) транзистор целесообразно включать с общим коллектором.

Для схемы с общей базой коэффициент усиления по току составляет меньше единицы. Это вызвано действием 100%-ной обратной связи по току. Параллельная обратная связь уменьшает входное сопротивление каскада. Из-за очень низкого входного сопротивления схема с общей базой не получила широкого распространения.

14.2. Типы и структуры транзисторов

Транзисторы классифицируются по исходному материалу, расходуемой мощности, диапазону рабочих частот, принципу действия и другим признакам.

В зависимости от исходного материала различают германиевые и кремниевые транзисторы.

По величине рассеиваемой мощности выпускают транзисторы малой, средней и большой мощности.

В зависимости от диапазона рабочих частот выпускают транзисторы низкой, средней и высокой частоты.

Рассмотрим структуру транзисторов малой мощности. Сплавные германиевые транзисторы структуры $p-n-p$ (рис. 14.3, *a*) образу-

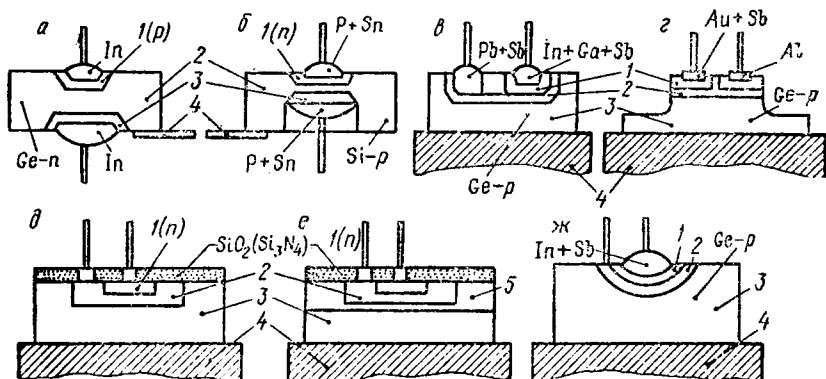


Рис. 14.3. Модели структур транзисторов:

а — сплавного германиевого; б — сплавного кремнивого; в — сплавно-диффузионного германиевого; г — диффузионно-сплавного германиевого меэластруктуры; д — кремникового планарного; е — кремниowego эпитаксиального; ж — германиевого конверсионного; 1 — эмиттер; 2 — база; 3 — коллектор; 4 — кристаллодержатель; 5 — эпитаксиальный слой

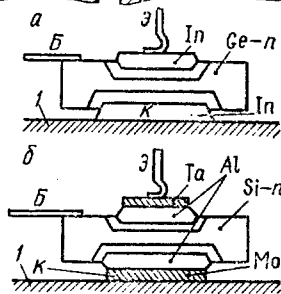


Рис. 14.4. Модели структур транзисторов большой мощности

а — германиевого; б — кремни-
евого; 1 — кристаллодержа-
тель

ются вплавлением в противоположные плоскости пластины германия *n*-типа (площадью в несколько квадратных миллиметров и толщиной 0,1...0,3 мм) двух капель индия. Проникшие при впавлении в глубь пластины атомы индия создают в зонах проникновения области с дырочной проводимостью. Область меньшего размера называют эмиттером, другую область — коллектором. Тонкая средняя часть германиевой пластины, сохранившая проводимость *n*-типа, является базой транзистора.

У сплавных германиевых транзисторов структуры $n-p-n$ аналогичная конструкция, но у них пластина имеет проводимость p -типа, а коллектор и эмиттер образованы сплавлением сплава свинца с сурьмой.

Основой конструкции сплавных кремниевых транзисторов структуры $n-p-n$ (рис. 14.3, б) является пластина кремния p -типа,

толщиной 0,1... 0,15 мм, площадью в несколько квадратных миллиметров. Области коллектора и эмиттера n -типа созданы вплавлением олова с фосфором.

Сплавно-диффузионные транзисторы (рис. 14.3, в) имеют в большинстве германиевые $p-n-p$ -структуры. В пластине p -германия образована лунка, на поверхность которой нанесен тонкий слой n -германия (база). Исходная пластина является коллектором, а эмиттерный слой p -типа образован вплавлением индия с добавлением галлия и сурьмы. Базовый слой получается в результате диффузии атомов сурьмы в исходную пластину германия. Процесс проникновения происходит в специальной высокотемпературной печи, содержащей пары сурьмы. Метод диффузии позволяет получить базовый слой значительно меньшей толщины, чем в сплавных транзисторах. Поэтому сплавно-диффузионные транзисторы пригодны для работы на высоких частотах.

У диффузионно-сплавных мезатранзисторов (рис. 14.3, г) на поверхности пластины германия p -типа методом диффузии создан тонкий слой n -типа. Основной объем пластины является коллектором, n -слой — базой. Эмиттер p -типа в виде тонкой и узкой полоски образован вплавлением алюминия. Конструктивная особенность мезатранзистора заключается в том, что периферийные части пластины при производстве стравлены в кислотной смеси или в перекиси водорода, что позволяет получить коллекторный переход с малой емкостью и использовать мезатранзисторы на высоких частотах вплоть до диапазона ультракоротких волн.

Планарными (рис. 14.3, д) являются преимущественно кремниевые транзисторы. В пластине n -кремния методом диффузии галлия получают слой p -базы, а затем диффузией атомов фосфора создают слой n -эмиттера. Особенностью планарной структуры является, то, что края переходов, выходящие на верхнюю поверхность кремниевой пластины, покрыты прочной пленкой двуокиси кремния или нитрида кремния. Такая защита переходов улучшает стабильность параметров транзисторов.

В *эпитаксиальных транзисторах* (рис. 14.3, е) непосредственно к коллекторному переходу прилегает тонкий (эпитаксиальный) слой кремния (германия), содержащий относительно малое количество примесных атомов на единицу объема и поэтому обладающий меньшей удельной электропроводностью по сравнению с остальной частью коллектора, где примесных атомов значительно больше. Термин «эпитаксиальный» означает, что кристаллическая решетка тонкого слоя полупроводника коллектора является продолжением кристаллической решетки исходного кремния (германия). С эпитаксиальной структурой выполняют также и мезатранзисторы.

Конверсионные транзисторы (рис. 14.3, ж) относятся к числу диффузионных, отличаясь технологией получения переходов. В процессе производства n -германий насыщают медью, вследствие чего он приобретает дырочную проводимость. Этот процесс называют конверсией. При вплавлении в такой германий сплава индия с сурь-

мой происходит одновременно диффузия сурьмы в германий и обратная диффузия меди из p -германия.

Рассмотрим структуру транзисторов средней и большой мощности. Переходы у этих транзисторов имеют значительно большие площади, чем у транзисторов малой мощности. Значения токов достигают нескольких ампер, что приводит к сильному нагреву элементов структуры и конструкции транзисторов. Для отвода тепла их коллекторы припаивают всей плоскостью к массивным (обычно медным) кристаллодержателям, а транзисторы монтируют в аппаратуре на теплоотводах, через которые тепло интенсивно рассеивается в окружающее пространство.

Структура сплавных германиевых транзисторов типа $p-n-p$ (рис. 14.4, а) содержит те же элементы, что и структура транзисторов малой мощности. Транзисторы, рассчитанные на ток коллектора до 5 А, имеют диаметр коллектора около 7 мм.

У сплавных кремниевых транзисторов структуры $p-n-p$ (рис. 14.4, б) в пластину кремния n -типа вплавлен сверху алюминиевый дисковый электрод диаметром несколько миллиметров, снизу — алюминиевый электрод большего диаметра. Танталовая накладка на электроде эмиттера и молибденовая накладка на электроде коллектора снимают температурные перенапряжения кремниевой пластины. Такая конструкция применена в транзисторах типа П302... П306. Сплавные транзисторы большой мощности пригодны для работы на частотах до 10... 15 кГц. Для работы на более высоких частотах применяют *конверсионные, планарные и эпитаксиально-планарные транзисторы* средней и большой мощности, отличающиеся от соответствующих транзисторов малой мощности только большими площадями переходов.

14.3. Определения терминов основных электрических параметров

Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров биполярных транзисторов установлены ГОСТ 20003—74.

Термины, относящиеся к характеристикам физических свойств.

Обратный ток коллектора $I_{кбо}$ — ток через коллекторный переход при заданном обратном напряжении коллектор — база и разомкнутом выводе эмиттера.

Обратный ток эмиттера $I_{эбо}$ — ток через эмиттерный переход при заданном обратном напряжении эмиттер — база и разомкнутом выводе коллектора.

Обратный ток коллектор — эмиттер $I_{кэ}^I$ — ток в цепи коллектор — эмиттер при заданном обратном напряжении коллектор — эмиттер.

¹ При разомкнутом выводе базы — $I_{кэ0}$; при короткозамкнутых выводах эмиттера и базы — $I_{кэ\kappa}$; при заданном сопротивлении в цепи база — эмиттер — $I_{кэR}$; при заданном обратном напряжении эмиттер — база — $I_{кэ\mathcal{E}}$.

Обратный ток базы $I_{БХ}$ — ток в цепи базового вывода при заданном обратном напряжении коллектор — эмиттер и заданном обратном напряжении эмиттер — база.

Максимально допустимый импульсный ток базы $I_{Б, и, макс}$ — импульсное значение тока базы при заданной скважности и длительности импульса.

Граничное напряжение $U_{КЭ0 гр}$ — напряжение между выводами коллектора и эмиттера при токе базы, равном нулю, и заданном токе эмиттера.

Напряжение насыщения коллектор — эмиттер $U_{КЭ нас}$ — напряжение между выводами коллектора и эмиттера транзистора в режиме насыщения при заданных токах базы и коллектора.

Напряжение насыщения база — эмиттер $U_{БЭ нас}$ — напряжение между выводами базы и эмиттера транзистора в режиме насыщения при заданных токах базы и коллектора.

Максимально допустимое импульсное напряжение эмиттер — база $U_{ЭБ и, макс}$ — импульсное значение напряжения при заданной скважности и длительности импульса.

Пробивное напряжение эмиттер — база $U_{ЭБО проб}$ — пробивное напряжение, измеряемое между выводами эмиттера и базы, при заданном в технической документации обратном токе эмиттера и токе коллектора, равном нулю.

Пробивное напряжение коллектор — база $U_{КБО проб}$ — пробивное напряжение, измеряемое между выводами коллектора и базы, при заданном в технической документации обратном токе коллектора и токе эмиттера, равном нулю.

Пробивное напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭ проб}^1$ — пробивное напряжение, измеряемое между выводами коллектора и эмиттера, при заданном в технической документации токе коллектора.

Входное сопротивление в режиме малого сигнала h_{11}^2 — отношение изменения напряжения на входе к вызвавшему его изменению входного тока в режиме короткого замыкания по переменному току на выходе транзистора.

Коэффициент обратной связи по напряжению в режиме малого сигнала h_{12} — отношение изменения напряжения на входе к вызвавшему его изменению напряжения на выходе в режиме холостого хода во входной цепи по переменному току.

Коэффициент передачи тока в режиме малого сигнала h_{21}^2 — отношение изменения выходного тока к вызвавшему его изменению входного тока в режиме короткого замыкания выходной цепи по переменному току.

¹ При токе базы, равном нулю, — $U_{КЭ0 проб}$; при заданном сопротивлении в цепи база — эмиттер — $U_{КЭЭ проб}$; при коротком замыкании в цепи база — эмиттер — $U_{КЭК проб}$; при заданном обратном напряжении база — эмиттер — $U_{КЭХ проб}$.

² В схеме с общей базой или общим эмиттером добавляется индекс соответственно «б» или «э».

Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте $|h_{21э}|$ — модуль коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером в режиме малого сигнала на высокой частоте.

Выходная полная проводимость в режиме малого сигнала при холостом ходе h_{22}^1 — отношение изменения выходного тока к вызвавшему его изменению выходного напряжения в режиме холостого хода входной цепи по переменному току.

Входное сопротивление в схеме с общим эмиттером в режиме большого сигнала $h_{11э}$ — отношение напряжения на входе транзистора к входному току при заданном постоянном обратном напряжении коллектор — эмиттер в схеме с общим эмиттером.

Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ — отношение постоянного тока коллектора к постоянному току базы при заданных постоянном обратном напряжении коллектор — эмиттер и токе эмиттера в схеме с общим эмиттером.

Входная полная проводимость в режиме малого сигнала Y_{11}^1 — отношение изменений комплексных величин входного тока к вызванному им изменению напряжения на входе при коротком замыкании по переменному току на выходе.

Полная проводимость обратной передачи в режиме малого сигнала Y_{12}^1 — отношение изменений комплексных величин входного тока к вызвавшему его изменению напряжения на выходе при коротком замыкании по переменному току на входе.

Полная проводимость прямой передачи в режиме малого сигнала Y_{21}^1 — отношение изменений комплексных величин выходного тока к вызвавшему его изменению напряжения на входе при коротком замыкании по переменному току на выходе.

Модуль полной проводимости прямой передачи $|Y_{21э}|$ — модуль полной проводимости прямой передачи в схеме с общим эмиттером.

Выходная полная проводимость в режиме малого сигнала при коротком замыкании Y_{22}^1 — отношение изменений комплексных величин выходного тока к вызванному им изменению выходного напряжения при коротком замыкании по переменному току на входе.

Статическая крутизна прямой передачи в схеме с общим эмиттером $Y_{21э}$ — отношение постоянного тока коллектора к постоянному напряжению база — эмиттер при заданном напряжении коллектор — эмиттер.

Входная емкость C_{11}^1 — емкость, измеренная на входе транзистора, при коротком замыкании по переменному току на выходе в режиме малого сигнала.

Выходная емкость C_{22}^1 — емкость, измеренная на выходе транзистора, при разомкнутом входе по переменному току в режиме малого сигнала.

¹ В схеме с общей базой или общим эмиттером добавляется индекс соответственно «б» или «э».

Предельная частота коэффициента передачи тока в схеме с общей базой $f_{h_{зб}}$ — частота, на которой модуль коэффициента передачи тока падает на 3 дБ по сравнению с его низкочастотным значением.

Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером $f_{гр}$ — частота, при которой модуль коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером равен единице.

Максимальная частота генерации $f_{\max}$ — наибольшая частота, при которой транзистор способен генерировать в схеме автогенератора.

Коэффициент шума $K_{ш}$ — отношение мощности шумов на выходе транзистора к той ее части, которая вызвана тепловыми шумами сопротивления источника сигнала.

Общее тепловое сопротивление транзистора (переход — окружающая среда) R_T , °C/Вт.

Тепловое сопротивление транзистора (переход — корпус) R_B .

Время задержки $t_{зд}$ — интервал времени между моментом нарастания фронта входного импульса до значения, соответствующего 10% его амплитуды, и моментом нарастания фронта выходного импульса до значения, соответствующего 10% его амплитуды.

Время нарастания $t_{нр}$ — интервал времени между моментами нарастания фронта выходного импульса от значения, соответствующего 10% его амплитуды, до значения, соответствующего 90% его амплитуды, до значения, соответствующего 100% его амплитуды.

Время рассасывания $t_{рас}$ — интервал времени между моментом подачи на базу запирающего импульса и моментом, когда напряжение на коллекторе транзистора достигает заданного уровня.

Время спада $t_{сп}$ — интервал времени между моментами спада (среза) выходного импульса от значения, соответствующего 90% его амплитуды, до значения, соответствующего 10% его амплитуды.

Время включения $t_{вкл}$ — интервал времени, являющийся суммой времени задержки и времени нарастания.

Время выключения $t_{выкл}$ — интервал времени между моментом подачи на базу запирающего импульса и моментом, когда напряжение на коллекторе транзистора достигает значения, соответствующего 10% его амплитудного значения.

Сопротивление базы r_B — сопротивление между выводом базы и переходом база — эмиттер.

Емкость эмиттерного перехода $C_э$ — емкость между выводами эмиттера и базы транзистора при заданных обратном напряжении эмиттер — база и режиме коллекторной цепи.

Емкость коллекторного перехода C_K — емкость между выводами базы и коллектора транзистора при заданных обратном напряжении коллектор — база и режиме эмиттерной цепи.

Постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте τ_K — произведение сопротивления базы на активную емкость коллекторного перехода ($\tau_K = r_B C_K$).

Термины, относящиеся к режимам эксплуатации (измерений).
Постоянный ток коллектора I_K — постоянный ток, протекающий через коллекторный переход.

Постоянный ток эмиттера I_E — постоянный ток, протекающий через эмиттерный переход.

Постоянный ток базы I_B — постоянный ток, протекающий через базовый вывод.

Постоянный ток коллектора в режиме насыщения $I_{K \text{ нас.}}$

Постоянный ток базы в режиме насыщения $I_{B \text{ нас.}}$

Импульсный ток коллектора $I_{K, \text{и}}$ — импульсное значение тока коллектора при заданной скважности и длительности импульса.

Импульсный ток эмиттера $I_{E, \text{и}}$ — импульсное значение тока эмиттера при заданной скважности и длительности импульса.

Постоянное напряжение эмиттер — база $U_{ЭБ}^1$ — постоянное напряжение между выводами эмиттера и базы.

Постоянное напряжение коллектор — база $U_{КБ}^2$ — постоянное напряжение между выводами коллектора и базы.

Постоянное напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭ}^3$ — постоянное напряжение между выводами коллектора и эмиттера.

Выходная мощность $P_{\text{вых}}$ — мощность, которую отдает транзистор в типовой схеме генератора (усилителя) на заданной частоте колебаний.

Постоянная рассеиваемая мощность P — суммарное значение постоянной мощности, рассеиваемой в транзисторе.

Средняя рассеиваемая мощность биполярного транзистора $P_{\text{ср}}$ — усредненное за период значение мощности, рассеиваемой в транзисторе.

Импульсная рассеиваемая мощность $P_{\text{и}}$ — пиковое значение мощности, рассеиваемой в транзисторе при работе в импульсном режиме.

Постоянная рассеиваемая мощность коллектора P_K — постоянное значение мощности, рассеиваемой на коллекторе биполярного транзистора.

Средняя рассеиваемая мощность коллектора $P_{K, \text{ср}}$ — усредненное за период значение мощности, рассеиваемой на коллекторе транзистора.

¹ При заданном обратном токе эмиттера и токе коллектора, равном нулю, — $U_{ЭБ0}$

² При заданном токе коллектора и токе эмиттера, равном нулю, — $U_{КБ0}$

³ При заданном токе коллектора и токе базы, равном нулю, — $U_{КЭ0}$;
при заданном токе коллектора и сопротивлений в цепи база — эмиттер — $U_{КЭR}$;
при заданном токе коллектора и коротком замыкании в цепи база — эмиттер — $U_{КЭК}$;

при заданном токе коллектора и заданном обратном напряжении эмиттер — база — $U_{КЭХ}$.

Термины, относящиеся к максимально допустимым параметрам¹.

Максимально допустимый постоянный ток коллектора $I_{К, \text{ макс.}}$

Максимально допустимый постоянный ток эмиттера $I_{Э, \text{ макс.}}$

Максимально допустимый постоянный ток базы $I_{Б, \text{ макс.}}$

Максимально допустимый импульсный ток коллектора $I_{К, \text{ и, макс.}}$

Максимально допустимый импульсный ток эмиттера $I_{Э, \text{ и, макс.}}$

Максимально допустимый постоянный ток коллектора в режиме насыщения $I_{К, \text{ нас, макс.}}$

Максимально допустимый постоянный ток базы в режиме насыщения $I_{Б, \text{ нас, макс.}}$

Максимально допустимое постоянное напряжение эмиттер — база $U_{ЭБ, \text{ макс.}}$

Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор — база $U_{КБ, \text{ макс.}}$

Максимально допустимое постоянное напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭ, \text{ макс.}}$

Максимально допустимое импульсное напряжение коллектор — эмиттер $U_{КЭ, \text{ и, макс.}}$

Максимально допустимое импульсное напряжение коллектор — база $U_{КБ, \text{ и, макс.}}$

Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность коллектора $P_{К, \text{ макс.}}^2$

Максимально допустимая постоянная (или средняя) рассеиваемая мощность транзистора $P_{\text{макс.}}^2$

Максимально допустимая импульсная рассеиваемая мощность $P_{\text{и макс.}}$

В справочнике приведены значения h -параметров для схемы включения с общим эмиттером или с общей базой. Имея h -параметры для схемы включения с общим эмиттером, можно получить значения их для схемы включения с общей базой при помощи формул перехода:

$$h_{11Б} = \frac{h_{11Э}}{1 + h_{21Э}}; \quad |h_{21Б}| = \frac{h_{21Э}}{1 + h_{21Э}}; \quad h_{22Б} = \frac{h_{22Э}}{1 + h_{21Э}};$$

$$h_{12Б} = \frac{h_{11Э} h_{22Э} - h_{12Э} h_{21Э} - h_{12Э}}{1 + h_{21Э}}.$$

Значения низкочастотных малосигнальных Y параметров (активных составляющих) могут быть определены при помощи формул:

¹ Максимально допустимыми параметрами называются значения конкретных режимов биполярных транзисторов, которые не должны превышать при любых условиях эксплуатации и при которых обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимые импульсные параметры приводятся для заданной скважности и длительности импульсов.

Когда не возникает сомнений в том, что используемое буквенное обозначение относится к максимально допустимому параметру, можно опускать индекс «макс».

² $P_{\text{макс.}}$, т. $P_{К, \text{ макс.}}$, т — рассеиваемые мощности транзистора и коллектора с теплоотводом.

$$g_{11} = \frac{1 - |h_{21Б}|}{h_{11Б}}; \quad g_{12} = h_{22Б} - \frac{h_{12Б}}{h_{11Б}} (1 - |h_{21Б}|);$$

$$g_{21} = \frac{|h_{21Б}|}{h_{11Б}}; \quad g_{22} = h_{22Б} + \frac{h_{12Б}}{h_{11Б}} |h_{21Б}|; \quad g_{11} = \frac{1}{h_{11Э}};$$

$$g_{12} = \frac{h_{12Э}}{h_{11Э}}; \quad g_{21} = \frac{|h_{21Э}|}{h_{11Э}}; \quad g_{22} = h_{22Э} - \frac{h_{12Э}}{h_{11Э}} |h_{21Э}|.$$

В справочнике приведены значения высокочастотных параметров C_K , r_B , C_K , $f_{гр}$ или $f_{макс}$. Частота $f_{гр}$ и максимальная частота генерации $f_{макс}$ связаны равенством

$$f_{гр} = 8\pi r_B' C_K f_{макс}^2.$$

С помощью параметров $f_{гр}$ или $f_{макс}$ можно определить постоянную времени транзистора:

$$\tau = \frac{g_{21} r_B'}{2\pi m_{гр} f_{гр}}; \quad \tau = \frac{g_{21}}{16\pi^2 C_K f_{макс}^2 m_{гр}},$$

где $m_{гр} = 1,2-1,6$ (меньшее значение относится к бездрейфовым транзисторам).

Приведенные в справочнике значения h -параметров измерены при определенных значениях тока $I_K(I_{Э})$ и напряжения $U_{КЭ}(U_{КБ})$. В случае выбора рабочей точки с другими координатами $I_K(I_{Э})$ и $U_{КЭ}(U_{КБ})$, необходимо произвести пересчет значений параметров по формулам:

$$g_{11} \approx \frac{I_K^*}{I_K} g_{11справ}; \quad g_{21} \approx \frac{I_K^*}{I_K} g_{21справ}; \quad g_{22} \approx \frac{I_K^*}{I_K} g_{22справ};$$

$$\tau \approx \frac{I_K^*}{I_K} \frac{g_{21справ} r_B'}{2\pi f_{гр} m_{гр}},$$

где $g_{11справ}$, $g_{21справ}$, $g_{22справ}$ — значения g -параметров, определяемые по приведенным в справочнике h -параметрам.

Емкость C_K в первом приближении является функцией напряжения на коллекторе

$$C_K \approx \sqrt{\frac{U_{КЭ}^*}{U_{КЭ}}} C_{Kсправ},$$

где $C_{Kсправ}$ — соответствующее $U_{КЭ}$ значение емкости база — коллектор.

Следует отметить оправданность таких приближений (как и приближение проводимостью g_{12} , а в ряде случаев и g_{22}) в связи со значительным разбросом параметров транзисторов. Так, например, разброс таких параметров, как входная проводимость g_{11} , сопро-

тивление базы r_B и постоянная времени транзистора τ , может достигать, а в отдельных случаях превышать 100%. Поэтому результаты расчета схем на транзисторах, если, как это обычно принято пользоваться усредненными (типовыми) параметрами транзисторов, следует рассматривать как ориентировочные. Применяя достаточно глубокую отрицательную обратную связь как по переменному, так и по постоянному току, можно заметно ослабить влияние разброса параметров транзисторов на результаты расчета.

14.4. Система условных обозначений

В соответствии с ГОСТ 10862—72 обозначение биполярных транзисторов состоит из букв и цифр.

Первый элемент определяет исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор: германий или соединения германия — Г; кремний или соединения кремния — К; соединения галлия — А.

Обозначения исходного материала для транзисторов, используемых в устройствах специального назначения, устанавливаются следующие: германий или соединения германия — 1, кремний или соединения кремния — 2, соединения галлия — 3.

Второй элемент определяет подкласс полупроводникового прибора. Для биполярных транзисторов вторым элементом обозначения является буква Т.

Третий элемент определяет назначение прибора (табл. 14.1).

Четвертый и пятый элементы определяют порядковый номер разработки технологического типа прибора и обозначаются от 01 до 99.

Табл. 14.1. Обозначения класса транзисторов (третьего элемента):

Классы транзисторов	Обозначение
Транзисторы малой мощности ($P_{\max} < 0,3$ Вт):	
границная частота коэффициента передачи тока не более 3 МГц	1
границная частота коэффициента передачи тока более 3 МГц, но не более 30 МГц	2
границная частота коэффициента передачи тока более 30 МГц	3
Транзисторы средней мощности ($0,3 \text{ Вт} < P_{\max} \leq 1,5$ Вт):	
границная частота коэффициента передачи тока не более 3 МГц	4
границная частота коэффициента передачи тока более 3 МГц, но не более 30 МГц	5
границная частота коэффициента передачи тока более 30 МГц	6
Транзисторы большой мощности ($P_{\max} > 1,5$ Вт):	
границная частота коэффициента передачи тока не более 3 МГц	7
границная частота коэффициента передачи тока более 3 МГц, но не более 30 МГц	8
границная частота коэффициента передачи тока более 30 МГц	9

Примечание. Допускаемая электрическая мощность, рассеиваемая транзистором, указана для применения его без дополнительного теплоотвода.

Обозначения третьего, четвертого и пятого элементов транзисторов:

малой мощности низкой частоты...101 ...199
 малой мощности средней частоты...201 .. 299
 малой мощности высокой частоты...301 ...399
 средней мощности низкой частоты...401 ...499
 средней мощности средней частоты...501 ...599
 средней мощности высокой частоты...601 ...699
 большой мощности низкой частоты...701 ...799
 большой мощности средней частоты...801 ...899
 большой мощности высокой частоты...901 ...999.

Шестой элемент определяет деление технологического типа на параметрические группы и обозначается буквами русского алфавита от А до Я.

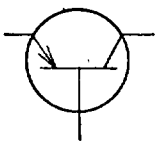
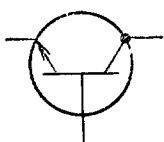
Обозначение наборов дискретных полупроводниковых приборов производится в соответствии с их разновидностью (транзистор малой мощности и т. д.) с добавлением буквы С перед последним элементом обозначения.

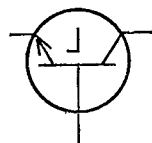
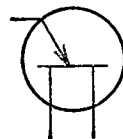
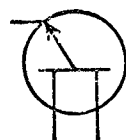
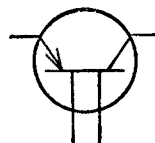
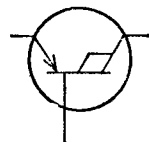
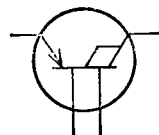
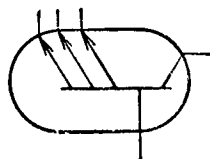
В качестве примера расшифруем марку транзистора типа 2Т144А: транзистор, предназначенный для устройств специального назначения, кремниевый, низкочастотный, малой мощности, номер разработки 44, группа А.

Транзисторы, разработанные до 1964 г., обозначаются буквой П с добавлением номера и буквы, указывающей разновидность прибора в серии (например, П15А, П104, П308). Модернизированные транзисторы имеют в обозначении букву М (например, МП20, МП42).

Условные графические обозначения транзисторов в схемах в соответствии с ГОСТ 2.730—73 приведены в табл. 14.2. В графических обозначениях стрелка, изображающая эмиттерный электрод, показывает направление протекания постоянной составляющей тока.

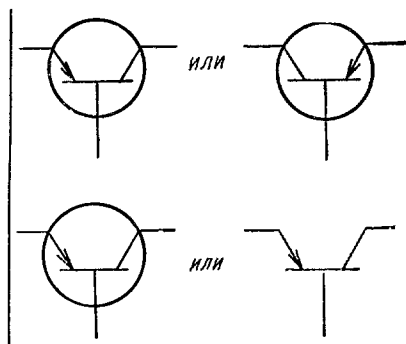
Табл. 14.2. Условные графические обозначения биполярных транзисторов

Транзистор типа $p-n-p$	
Транзистор типа $n-p-n$ с коллектором, электрически соединенным с корпусом	

Лавинный транзистор типа $n-p-n$ Однопереходный транзистор с n -базойОднопереходный транзистор с p -базойТранзистор типа $p-n-p$ с двумя базовыми выводамиТранзистор типа $p-n-i-p$ Транзистор типа $p-n-i-p$ с выводом от i -областиМногэмиттерный транзистор типа $n-p-n$ 

Примечание. Для упрощения графики схемы допускается: а) выполнять обозначения транзисторов в зеркальном изображении

б) выполнять обозначения без окружности (или овала).



14.5. Электрические параметры

Параметры германиевых и кремниевых транзисторов приведены в табл. 14.3...14.10, цоколевка и характеристика показаны на рис. 14.5...14.17.

14.6. Лавинные транзисторы

Лавинным называют транзистор, в котором используется режим лавинного размножения носителей заряда в коллекторном переходе.

В основе принципа действия лавинных транзисторов лежит ударная ионизация в $p-n$ -переходе, приводящая к резкому возрастанию носителей заряда и тока через переход.

Особый интерес представляет вольт-амперная характеристика транзистора при наличии ударной ионизации в коллекторном переходе (рис. 14.18). Область напряжений, меньших U_β , является областью нормальной работы транзистора. Область, заключенная между напряжением пробоя U_M и напряжением U_β , называется *лавинной областью*.

Как видно, здесь вольт-амперная характеристика имеет участок с отрицательным сопротивлением. Кривая 1 характеристики соответствует схеме с отключенным эмиттером, кривая 2 — схеме с отключенной базой. Вблизи точки U'_β , соответствующей максимуму напряжения, начинает отпираться эмиттерный переход. Задав дополнительное смещение в базу управляющим током, можно перемещать начало отпирания эмиттерного перехода и тем самым изменять вольт-амперную характеристику. При отпирающем смещении точка U'_β перемещается в область меньших напряжений (кривая 4), так как эмиттерный переход отпирается при меньшем токе и напряжении. При запирающем смещении напряжение U'_β увеличивается (кривая 5), так как требуется больший ток, противодействующий запирающему смещению.

Табл. 14.3. Параметры германиевых транзисторов малой мощности низкой и средней частоты

Тип тран- зистора	$P_{\text{макс}}$ (P_K макс), мВт	$f_{\text{н21Б}}$ ($f_{\text{гр}}$), МГц	$U_{\text{КБ макс}}$, В	$U_{\text{КЭ макс}}$ ($U_{\text{КЭ н, макс}}$) [$U_{\text{КЭR макс}}$], В	$U_{\text{ЭБ макс}}$, В	I_K макс (I_K и, макс), мА	$I_{\text{КБ0}}$ ($I_{\text{КЭК}}$), мкА	h-параметры				$U_{\text{КЭ нас}}$ ($U_{\text{БЭ нас}}$), В	$t_{\text{рад}}$ ($t_{\text{вкл}}$) мкс	C_K ($C_{\text{Э}}$), пФ	$r_{\text{Б}}$ C_K , пс	Диапазон рабочих темпера- тур, °С
								$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$h_{22Б}$, мксМ	Режим						
										$U_{\text{КЭ}}$ ($U_{\text{КБ}}$), В	$I_{\text{Э}}$ (I_K), мА					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$p-n-p$																
МП20	(150)	(1)	50	[30]	50	(300)	50	50...150	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП20А	150	2	30	20	30	(300)	50	50...150	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП20Б	150	1,5	30	20	30	(300)	50	80...200	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21	(150)	(1)	70	[35]	50	(300)	50	20...60	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21А	(150)	(1)	70	[35]	50	(300)	50	50...150	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21Б	(150)	(0,465)	70	[40]	50	(300)	50	20...80	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21В	150	1,5	40	30	40	(300)	50	20...100	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21Г	150	1	60	35	40	(300)	50	20...80	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21Д	150	1	50	30	40	(300)	50	60...200	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП21Е	150	0,7	70	35	40	(300)	50	30...150	—	5	25	0,3	—	—	—	—60...+70
МП25	200	0,2	40	[40]	40	(300)	75	13...25	1,5	(20)	2,5	0,3(1,2)	—	70	—	—60...+70
МП25А	200	0,2	40	[40]	40	(400)	75	20...50	1,5	(20)	2,5	0,3(1,2)	—	70	—	—60...+70
МП25Б	200	0,5	40	[40]	40	(400)	75	30...80	1,5	(20)	2,5	0,3(1)	—	70	—	—60...+70
МП26	200	0,2	70	[70]	70	(300)	75	13...25	1	(35)	1,5	0,3(1,2)	—	50	—	—60...+70
МП26А	200	0,2	70	[70]	70	(400)	75	20...50	1	(35)	1,5	0,3(1)	—	50	—	—60...+70
МП26Б	200	0,5	70	[70]	70	(400)	75	30...80	1	(35)	1,5	0,3(1)	—	50	—	—60...+70
МП39	150	0,5	15	15 (20)	5	20 (150)	15	12	3,3	5	1	—	—	60	—	—60...+70
МП39Б	150	0,5	15	15 (20)	5	20 (150)	15	20...60	3,3	5	1	—	—	60	—	—60...+70
МП40	150	1	15	15 (20)	5	20 (150)	15	20...40	3,3	5	1	—	—	60	—	—60...+70
МП40А	150	1	30	30 (30)	5	20 (150)	15	20...40	3,3	5	1	—	—	60	—	—60...+70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МП41	150	1	15	15 (20)	5	20 (150)	15	30...60	3,3	5	1	—	—	60	—	—60...+70
МП41А	150	1	15	15 (20)	5	20 (150)	15	50...100	3,3	5	1	—	—	60	—	—60...+70
МП42	200	1	15	[15]	—	(150)	[25]	(20...35)	—	1	(10)	0,2(0,4)	—	—	—	—60...+70
МП42А	200	1	15	[15]	—	(150)	[25]	(30...50)	—	1	(10)	0,2(0,4)	—	—	—	—60...+70
МП42Б	200	1	15	[15]	—	(150)	[25]	(45...100)	—	1	(10)	0,2(0,4)	—	—	—	—60...+70
ТМ5А	(75)	(1)	15	15	10	70 (150)	20	(20...50)	—	1	10	0,15(0,5)	2	30 (45)	2500	—60...+73
ТМ5Б	(75)	(1)	15	15	10	70 (150)	20	(35...80)	—	1	10	0,15(0,5)	2	30 (45)	3000	—60...+73
ТМ5В	(75)	(2)	15	15	10	70 (150)	20	(60...130)	—	1	10	0,15(0,5)	2	30 (45)	3000	—60...+73
ТМ5Г	(75)	(3)	15	15	10	70 (150)	20	(110...250)	—	1	10	0,15(0,5)	2	30 (45)	3500	—60...+73
ТМ5Д	(75)	(1)	25	15	10	70 (150)	20	(20...60)	—	1	10	0,15(0,5)	2	30 (45)	2500	—60...+73
1Т101	50	2	15	[15]	15	10	15	30...60	2	5	1	—	—	50	—	—60...+70
1Т101А	50	2	15	[15]	15	10	15	20...40	2	5	1	—	—	50	—	—60...+70
1Т102	30	1	5	5	15	6	10	20	(2)	5	1	—	—	—	—	—60...+70
1Т102А	30	1	5	5	15	6	10	20	(2)	5	1	—	—	—	—	—60...+70
1ТМ115А	50	(1)	50	[40] (50)	50	—	50	20...60	—	1	25	0,2(1,5)	2,5	50 (20)	6500	—60...+73
1ТМ115Б	50	(1)	50	[40] (50)	50	—	50	20...150	—	1	25	0,15(1,5)	2,5	50 (20)	6500	—60...+73
1ТМ115В	50	(1)	70	[55] (70)	50	—	50	20...60	—	1	25	0,2(1,5)	2,5	50 (20)	6500	—60...+73
1ТМ115Г	50	(1)	70	[55] (70)	50	—	50	50...150	—	1	25	0,15(1,5)	2,5	50 (20)	6500	—60...+73
ГТ115А	(50)	1	20	—	20	30	40	20...80	—	(1)	25	—	—	—	—	—20...+45
ГТ115Б	(50)	1	30	—	20	30	40	20...80	—	(1)	25	—	—	—	—	—20...+45
ГТ115В	(50)	1	20	—	20	30	40	60...150	—	(1)	25	—	—	—	—	—20...+45
ГТ115Г	(50)	1	30	—	20	30	40	60...150	—	(1)	25	—	—	—	—	—20...+45
ГТ115Д	(50)	1	20	—	20	30	40	125...250	—	(1)	25	—	—	—	—	—20...+45
1Т116А	150	(1)	—	[15](30)	—	50 (300)	[30]	(15...65)	—	1	(100)	0,25	—	—	—	—60...+70
1Т116Б	150	(1)	—	[15](30)	—	50 (300)	[30]	(15...65)	—	1	(100)	0,25	—	—	—	—60...+70

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
IT116B	150	(1)	—	[15] (30)	—	50 (300)	[30]	(20...65)	—	1	(100)	0,25	—	—	—	—60...+70
IT116Г	150	(1)	—	[15] (30)	—	50 (300)	[30]	(15...65)	—	1	(100)	0,25	—	—	—	—60...+70
ГТ108А	75	0,5	10	—	—	50	10	20...50	3,3	5	1	—	—	50	5000	—40...+55
ГТ108Б	75	1	10	—	—	50	10	35...80	3,3	5	1	—	—	50	5000	—40...+55
ГТ108В	75	1	10	—	—	50	10	60...130	3,3	5	1	—	—	50	5000	—40...+55
ГТ108Г	75	1	10	—	—	50	10	110...250	3,3	5	1	—	—	50	5000	—40...+55
МГТ108А	75	—	10	—	—	50	10	40...120	—	(5)	1	—	—	—	5000	—40...+55
МГТ108Б	75	—	10	—	—	50	10	20...50	—	(5)	1	—	—	—	5000	—40...+55
МГТ108В	75	—	10	—	—	50	10	35...80	—	(5)	1	—	—	—	5000	—40...+55
МГТ108Г	75	—	10	—	—	50	10	60...130	—	(5)	1	—	—	—	5000	—40...+55
МГТ108Д	75	—	10	—	—	50	10	110...250	—	(5)	1	—	—	—	5000	—40...+55
ГТ109А	(30)	1	10	[6]	—	20	5	20...50	—	(5)	1	—	—	30	5000	—30...+55
ГТ109Б	(30)	1	10	[6]	—	20	5	35...80	—	(5)	1	—	—	30	5000	—30...+55
ГТ109В	(30)	1	10	[6]	—	20	5	60...130	—	(5)	1	—	—	30	5000	—30...+55
ГТ109Г	(30)	1	10	[6]	—	20	5	110...250	—	(5)	1	—	—	30	5000	—30...+55
ГТ109Д	(30)	3	10	[6]	—	20	2	20...70	—	(1,2)	0,1	—	—	40	5000	—30...+55
ГТ109Е	(30)	5	10	[6]	—	20	2	50...100	—	(1,2)	0,1	—	—	40	5000	—30...+55
ГТ109Ж	(30)	—	10	[6]	—	20	1	(100)	—	1,5	10	—	—	—	—	—30...+55
ГТ109И	(30)	1	10	[6]	—	20	5	20...80	—	(5)	1	—	—	30	5000	—30...+55
ТМ2А	75	(3)	15	15	10	50 (100)	[20]	(20...60)	—	1	10	0,15(0,5)	2	25 (40)	3000	—60...+73
ТМ2Б	75	(3)	15	15	10	50 (100)	[20]	(50...150)	—	1	10	0,15(0,5)	2	25 (40)	3000	—60...+73
ТМ2В	75	(9)	10	10	10	50 (100)	[15]	(30...90)	—	1	10	0,15(0,5)	2	25 (40)	3000	—60...+73
ТМ2Г	75	(9)	10	10	10	50 (100)	[15]	(70...210)	—	1	10	0,15(0,5)	2	25 (40)	4000	—60...+73
ТМ2Д	75	(15)	10	10	10	50 (100)	[15]	(80...250)	—	1	10	0,15(0,5)	2	25 (40)	4000	—60...+73

n—p—n

МП35	150	0,5	15	15	—	20 (150)	30	13...125	2,5	5	1	—	—	60	—	—60...+60
МП33А	150	1	15	15	—	20 (150)	30	15...45	2,5	5	1	—	—	60	—	—60...+60
МП37	150	1	15	15	—	20 (150)	30	15...30	2,5	5	1	—	—	60	—	—60...+60

	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
МПЗ-А	150	1	30	30	—	20 (150)	30	15...30	2,5	15	1	—	—	60	—	—60...+60
МПЗ-Б	150	1	30	30	—	20 (150)	30	25...50	2,5	15	1	—	—	60	—	—60...+60
МПЗ8	150	2	15	15	—	20 (150)	30	25...55	2,5	5	1	—	—	60	—	—60...+60
МПЗ8А	150	2	15	15	—	20 (150)	30	45...100	2,5	5	1	—	—	60	—	—60...+60
ТМЗА	75	(1)	15	15	10	50 (100)	20	(18...55)	—	(1)	10	0,5 (1)	2,5	35 (70)	3000	—60...+73
ТМЗВ	75	(5)	15	15	10	50 (100)	20	(20...60)	—	(1)	10	0,5 (1)	2,5	35 (70)	3500	—60...+73
ТМЗГ	75	(5)	15	15	10	50 (100)	20	(40...120)	—	(1)	10	0,5 (1)	2,5	35 (70)	3500	—60...+73
ТМЗД	75	(10)	15	15	10	50 (100)	20	(40...160)	—	(1)	10	0,5 (1)	2,5	35 (70)	3500	—60...+73

Табл. 14.4. Параметры кремниевых транзисторов малой мощности низкой и средней частоты

Тип тран- зистора	$P_{К\text{ макс}}$ ($P_{\text{ макс}}$), мВт	$f_{\text{к21б}}$ ($f_{\text{гр}}$), МГц	$U_{КБ\text{ макс}}$, В	$U_{КЭR\text{ макс}}$ ($U_{КЭ\text{ макс}}$), В	$U_{ЭБ\text{ макс}}$, В	$I_{К\text{ макс}}$ ($I_{К\text{ и. макс}}$), мА	$I_{К...O}$ ($I_{КЭO}$), мкА	h -параметры*				$U_{КЭO}$ гр, В	$U_{КЭ\text{ нас}}$ ($U_{БЭ\text{ нао}}$), В	C_K ($C_{Э}$), пФ	Диапазон ра- бочих темпера- тур, °С
								$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$h_{11Б}$ ($h_{11э}$), Ом	Режим					
										$U_{КЭ}$ ($U_{КБ}$), В	$I_{Э}$ (I_K), мА				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

$p-n-p$															
МП104	(150)	0,1	60	60	30	10 (50)	(1000)	9	300	5	1	—	—	—	—60...+120
МП105	(150)	0,1	30	30	15	10 (50)	(1000)	9...45	300	5	1	—	—	—	—60...+120
МП106	(150)	0,5	15	15	10	10 (50)	(1000)	15...100	300	5	1	—	—	—	—60...+120
КТ104А	150	5	30	30	10	50	1	9...36	120	(5)	1	30	0,5 (1)	50 (10)	—60...+100
КТ104Б	150	5	15	15	10	50	1	20...80	120	(5)	1	15	0,5 (1)	50 (10)	—60...+100
КТ104В	150	5	15	15	10	50	1	40...160	120	(5)	1	15	0,5 (1)	50 (10)	—60...+100
КТ104Г	150	5	30	30	10	50	1	15...60	120	(5)	1	30	0,5 (1)	50 (10)	—60...+100
2ТМ104А ¹	150	5	30	30	10	50	1	9...36	120	(5)	1	30	0,5 (1)	50 (10)	—60...+125
2ТМ104Б	150	5	15	15	10	50	1	20...80	120	(5)	1	15	0,5 (1)	50 (10)	—60...+125
2ТМ104В	150	5	15	15	10	50	1	40...160	120	(5)	1	15	0,5 (1)	50 (10)	—60...+125
2ТМ104Г	150	5	30	30	10	50	1	15...60	120	(5)	1	30	0,5 (1)	50 (10)	—60...+125
КТ120А	10	1	60	60	10	10 (20)	0,5	20...200	—	(5)	1	—	0,5	50	—10...+55
КТ120Б	10	—	30	—	—	10 (20)	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—10...+55
КТ120В	10	1	60	60	10	10 (20)	0,5	20...200	—	(5)	1	—	2	50	—10...+55
КТ202А	15	5	15	(15)	10	10 (25)	1	15...70	100	5	1	15	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
КТ202Б	15	5	15	(15)	10	10 (25)	1	40...160	100	5	1	15	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
КТ202В	15	5	30	(30)	10	10 (25)	1	15...70	100	5	1	30	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
КТ202Г	15	5	30	(30)	10	10 (25)	1	40...160	100	5	1	30	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2Т202А	25	5	15	15	10	20 (50)	0,1	15...70	100	(5)	1	—	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
2Т202Б	25	5	15	15	10	20 (50)	0,1	40...160	100	(5)	1	—	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
2Т202В	25	5	30	30	10	20 (50)	0,1	15...70	100	(5)	1	—	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
2Т202Г	25	5	30	30	10	20 (50)	0,1	40...160	100	(5)	1	—	0,5 (1)	25 (10)	—60...+85
КТ203А	150	5	60	60	30	10 (50)	1	9	300	5	1	—	—	10	—60...+125
КТ203Б	150	5	30	30	15	10 (50)	1	30...100	300	5	1	—	1	10	—60...+125
КТ203В	150	5	15	15	10	10 (50)	1	30...200	300	5	1	—	0,5	10	—60...+125
2Т203А	(150)	5	60	60	30	10 (50)	1	9	300	5	1	—	—	10	—60...+125
2Т203Б	(150)	5	30	30	15	10 (50)	1	30...90	300	5	1	—	1	10	—60...+125
2Т203В	(150)	5	15	15	10	10 (50)	1	15...100	300	5	1	—	—	10	—60...+125
2Т203Г	(150)	10	60	60	30	10 (50)	1	40	300	5	1	—	0,5	10	—60...+125
2Т203Д	(150)	10	15	15	10	10 (50)	1	60...200	300	5	1	—	0,35	10	—60...+125
<i>n—p—n</i>															
МП101	(150)	0,5	20	20	20	20 (100)	(3)	10...25	—	5	1	—	—	150	—60...+120
МП101А	(150)	0,5	10	10	10	20 (100)	(3)	10...30	—	5	1	—	—	150	—60...+120
МП101Б	(150)	0,5	20	20	20	20 (100)	(3)	15...45	—	5	1	—	—	150	—60...+120
МП102	(150)	0,5	10	10	10	20 (100)	(3)	15...45	—	5	1	—	—	150	—60...+120
МП103	(150)	1,0	10	10	10	20 (100)	(3)	15...45	—	5	1	—	—	150	—60...+120
МП103А	150	1,0	10	10	10	20 (100)	(3)	30...75	—	5	1	—	—	150	—60...+120
2ТМ103А	75	30	120	120	1,5	15 (60)	7,5	16...50	70	(20)	2	—	3,3	15	—60...+125
2ТМ103Б	75	(30)	120	120	1,5	15 (60)	7,5	30...90	70	(20)	2	—	3,3	15	—60...+125
2ТМ103В	75	(30)	80	80	1,5	15 (60)	7,5	50...150	70	(20)	2	—	3,3	15	—60...+125
2ТМ103Г	75	(30)	80	80	3	15 (60)	7,5	16...50	70	(20)	2	—	3,3	15	—60...+125
2ТМ103Д	75	(30)	80	80	3	15 (60)	7,5	30...90	70	(20)	2	—	3,3	15	—60...+125
КТ201А	(150)	(10)	20	20	20	20 (100)	1	(20...60)	—	1	(5)	—	—	20	—60...+125
КТ201Б	(150)	(10)	20	20	20	20 (100)	1	(30...90)	—	1	(5)	—	—	20	—60...+125
КТ201В	(150)	(10)	10	10	10	20 (100)	1	(30...90)	—	1	(5)	—	—	20	—60...+125

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
КТ201Г	(150)	(10)	10	10	10	20 (100)	1	(70...210)	—	1	(5)	—	—	20	—60...+125
КТ201Д	(150)	(10)	10	10	10	20 (100)	1	(30...50)	—	1	(5)	—	—	20	—60...+125
2Т201А	(150)	(10)	20	20	20	20 (100)	0,5	(20...60)	—	(1)	(5)	—	—	20	—60...+125
2Т201Б	(150)	(10)	20	20	20	20 (100)	0,5	(30...50)	—	(1)	(5)	—	—	20	—60...+125
2Т201В	(150)	(10)	10	10	10	20 (100)	0,5	(30...50)	—	(1)	(5)	—	—	20	—60...+125
2Т201Г	(150)	(10)	10	10	10	20 (100)	0,5	(70...210)	—	(1)	(5)	—	—	20	—60...+125
2Т201Д	(150)	(10)	10	10	10	20 (100)	0,5	(30...50)	—	(1)	(5)	—	—	20	—60...+125
2Т205А	40	(20)	250	250	3	(45)	(3)	(10...40)	—	(10)	2,5	—	2 (1)	10 (25)	—60...+125
ТМ10	150	(20)	20	20	3	10	5	20...60	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10А	150	(20)	20	20	3	10	5	40...120	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10Б	150	(20)	30	30	3	10	5	10...32	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10В	150	(20)	30	30	3	10	5	20...60	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10Г	150	(30)	20	20	3	10	5	10...32	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10Д	150	(30)	20	20	3	10	5	20...60	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10Е	150	(30)	20	20	3	10	5	40...120	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ТМ10Ж	150	(30)	20	20	3	10	5	80	—	(10)	3	—	2,5 (2)	10 (50)	—60...+120
ПЗ07	250	(20)	80	80	3	30 (120)	3	16...50	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120
ПЗ07А	250	(20)	80	80	3	30 (120)	3	30...90	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120
ПЗ07Б	250	(20)	80	80	3	15 (120)	3	50...150	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120
ПЗ07В	250	(20)	60	60	3	30 (120)	3	50...150	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120
ПЗ07Г	250	(20)	80	80	3	15 (120)	3	16...50	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120
ПЗ08	250	(20)	120	120	3	15 (120)	3	30...50	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120
ПЗ09	250	(20)	120	120	3	30 (120)	3	16...50	70	(20)	10	—	—	—	—60...+120

¹ Для КТ202, 2Т202 и 2ТМ104 $t_{\text{рас}}=1$ мкс.

² Для МП101, МП102, МП103, 2Т201, КТ201 $h_{22Б}=2$ мкСм; для ТМ10 (А...Ж) — 3 мкСм.

Табл. 14.5. Параметры германиевых транзисторов малой мощности высокой частоты

Тип тран- зистора	$P_{К\text{ макс}}$ ($P_{и\text{ макс}}$), мВт	$f_{гр}$, МГц	$U_{КБ\text{ макс}}$ ($U_{КБ\text{ и макс}}$), В	$U_{КЭ\text{ макс}}$ ($U_{КЭ\text{ и макс}}$), В	$U_{ЭБ\text{ макс}}$, В	$I_{К\text{ макс}}$ ($I_{К\text{ и макс}}$), мА	$I_{КЕО}$ ($I_{КЭК}$), мкА	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$U_{КЭ0}$, В	$U_{КЭ\text{ нас}}$ ($U_{БЭ\text{ нас}}$), В	$t_{рас}$, мкс	$C_{К}$ ($C_{Э}$), пФ	$r_{Б\text{ К}}$, ом	$K_{ш}$, дБ	$U_{КЭ}$ ($U_{КБ}$), В	Режим для h -пара- метров $I_{Э}$ ($I_{К}$), мА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$p - n - p$																
П416	100 (360)	40	—	20 [12]	3	25 (120)	3	25...80	14	2 (0,5)	1	8 (40)	500	—	5	5
П416А	100 (360)	60	—	20 [12]	3	25 (120)	3	60...125	14	1,7 (0,5)	1	8 (40)	500	—	5	5
П416Б	100 (360)	80	—	20 [12]	3	25 (120)	3	90...200	14	1,7 (0,5)	1	8 (40)	500	—	5	5
ГТ305А	75	140	15	15	1,5	40 (100)	[6]	(25...80)	10	0,5 (0,7)	3	7 (50)	500	—	(1)	10
ГТ305Б	75	160	15	15	1,5	40 (100)	[6]	(60...180)	10	0,5 (0,7)	3	7 (50)	500	—	(1)	10
ГТ305В	75	160	15	15	0,5	40 (100)	4[6]	40...120	10	—	—	5,5 (50)	300	6	(5)	5
1ТМ305А	75	140	15	15	1,5	40 (100)	[6]	(25...80)	10	0,5 (0,7)	3	7	500	—	1	10
1ТМ305Б	75	160	15	15	1,5	40 (100)	[6]	(60...180)	10	0,5 (0,7)	3	7	500	—	1	10
1ТМ305В	75	160	15	15	0,5	40 (100)	4[6]	40...120	10	—	—	6	300	6	5	5
ГТ308А	150 (360)	90	20 (30)	20 [12]	3	50 (120)	5	(20...75)	12,5	1,5 (0,5)	1	8 (25)	400	—	(1)	10
ГТ308Б	150 (360)	120	20 (30)	20 [12]	3	50 (120)	5	(50...120)	12,5	1,2 (0,5)	1	8 (25)	400	—	(1)	10
ГТ308В	150 (360)	120	20 (30)	20 [12]	3	50 (120)	5	(80...200)	12,5	1,2 (0,5)	1	8 (25)	500	8	(1)	10
1Т308А	150 (360)	90	20 (30)	20 [12]	3	50 (120)	5	(25...75)	15	1,5 (0,45)	1	8 (22)	400	—	1	10
1Т308Б	150 (360)	120	20 (30)	20 [12]	3	50 (120)	5	(50...120)	15	1,2 (0,45)	1	8 (22)	400	—	1	10
1Т308В	150 (360)	120	20 (30)	20 [12]	3	50 (120)	5	(80...150)	15	1,2 (0,45)	1	8 (22)	500	8	1	10
ГТ309А	50	120	—	—	—	10	5	(20...70)	—	—	—	10	500	—	(5)	1
ГТ309Б	50	120	—	—	—	10	5	(60...180)	—	—	—	10	500	6	(5)	1
ГТ309В	50	80	—	[10]	—	10	5	(20...70)	—	—	—	10	1000	—	(5)	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ГТ309Г	50	80	—	[10]	—	10	5	(60...180)	—	—	—	10	1000	6	(5)	1
ГТ309Д	50	40	—	[10]	—	10	5	(20...70)	—	—	—	10	1000	—	(5)	1
ГТ309Е	50	40	—	[10]	—	10	5	(60...180)	—	—	—	10	1000	—	(5)	1
ГТ310А	20	(160)	12	[10]	—	10	5	(20...70)	—	—	—	4	300	3	5	1
ГТ310Б	20	(160)	12	[10]	—	10	5	(60...180)	—	—	—	4	300	3	5	1
ГТ310В	20	(120)	12	[10]	—	10	5	(20...70)	—	—	—	5	300	4	5	1
ГТ310Г	20	(120)	12	[10]	—	10	5	(60...180)	—	—	—	5	300	4	5	1
ГТ310Д	20	(80)	12	[10]	—	10	5	(20...70)	—	—	—	5	500	4	5	1
ГТ310Е	20	(80)	12	[10]	—	10	5	(60...180)	—	—	—	5	500	4	5	1
<i>n—p—n</i>																
ГТ311Е	150	250	12 (20)	[12]	2	50	10	(15...80)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	75	—	3	15
ГТ311Ж	150	300	12 (20)	[12]	2	50	10	(50...200)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	100	—	3	15
ГТ311И	150	450	10 (20)	[10]	1,5	50	10	(100...300)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	100	—	3	15
1Т311А	150	300—1000	12 (25)	[12]	2	50	5	(15...180)	10	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	50	7	(3)	15
1Т311Б	150	300—1000	12 (25)	[12]	2	50	5	(30...180)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	100	—	(3)	15
1Т311Г	150	450—1500	12 (25)	[12]	2	50	5	(30...80)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	—	—	(3)	15
1Т311Д	150	600—1500	12 (25)	[12]	2	50	5	(60...180)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	75	—	(3)	15
1Т311К	150	450—1500	12 (25)	[12]	2	50	5	(60...180)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	75	—	(3)	15
1Т311Л	150	600—1500	12 (25)	[12]	2	50	5	(150...300)	8	0,3 (0,6)	0,05	2,5 (5)	75	—	(3)	15
<i>p—n—p</i>																
ГТ313А	100	300—1000	15	[12]	0,2	30	5	20...250	—	0,7 (0,6)	—	2,5 (14)	75	—	(5)	5
ГТ313Б	100	450—1000	15	[12]	0,2	30	5	20...250	—	0,7 (0,6)	—	2,5 (14)	40	—	(5)	5
ГТ313В	100	350—1000	15	[12]	0,2	30	5	30...170	—	0,7 (0,6)	—	2,5 (18)	75	—	(5)	5
1Т313А	100	300—1000	12 (20)	[12]	0,2	50	5	20...250	7	0,7 (0,6)	—	2,5 (18)	75	7	(5)	5
1Т313Б	100	450—1000	12 (20)	[12]	0,2	50	5	20...80	7	0,7 (0,6)	—	2,5 (14)	40	7	(5)	5
1Т313В	100	450—1000	12 (20)	[12]	0,2	50	5	60...250	7	0,7 (0,6)	—	2,5 (14)	40	7	(5)	5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ГТ320А	200 (1000)	80	20	20 [12]	3	150 (300)	10	(20...80)	13	1,7 (0,5)	0,4	8 (25)	500	—	1	10
ГТ320Б	200 (1000)	120	20	20 [11]	3	150 (300)	10	(50...160)	11	1,7 (0,5)	0,5	8 (25)	500	—	1	10
ГТ320В	200 (1000)	160	20	20 [9]	3	150 (300)	10	(80...250)	9	1,7 (0,5)	0,6	8 (25)	600	—	1	10
1Т320А	200 (1000)	160	20	20 [14]	3	200 (300)	8	(40...100)	14	1 (0,45)	0,2	8 (25)	500	—	1	10
1Т320Б	200 (1000)	160	20	20 [12]	3	200 (300)	8	(70...160)	12	1 (0,45)	0,2	8 (25)	500	—	1	10
1Т320В	200 (1000)	200	20	20 [10]	3	200 (300)	8	(100...250)	10	1 (0,45)	0,2	8 (25)	500	—	1	10
ГТ321А	160 (20000)	60	60	[50]	4	200 (2000)	500	(20...60)	40	2,5 (1,3)	1	80 (600)	600	—	3	(500)
ГТ321Б	160 (20000)	60	60	[50]	4	200 (2000)	500	(40...120)	40	2,5 (1,3)	1	80 (600)	600	—	3	(500)
ГТ321В	160 (20000)	60	60	[50]	4	200 (2000)	500	(80...200)	40	2,5 (1,3)	1	80 (600)	600	—	3	(500)
ГТ321Г	160 (20000)	60	45	[40]	2,5	200 (2000)	500	(20...60)	30	2,5 (1,3)	1	80 (600)	600	—	3	(500)
1Т321Д	160 (20000)	60	45	[40]	2,5	200 (2000)	500	(40...120)	30	2,5 (1,3)	1	80 (600)	600	—	3	(500)
ГТ321Е	160 (20000)	60	45	[40]	2,5	200 (2000)	500	(80...200)	30	2,5 (1,3)	1	80 (600)	600	—	3	(500)
1Т321А	160 (20000)	60	60	[50]	4	200 (2000)	500	(20...60)	45	2,5 (1,3)	1	80 (550)	400	—	3	(500)
1Т321Б	160 (20000)	60	60	[50]	4	200 (2000)	500	(40...120)	45	2,5 (1,3)	1	80 (550)	400	—	3	(500)
1Т321В	160 (20000)	60	60	[50]	4	200 (2000)	500	(80...200)	45	2,5 (1,3)	1	80 (550)	400	—	3	(500)
1Т321Г	160 (20000)	60	45	[40]	2,5	200 (2000)	500	(20...60)	35	2,5 (1,3)	1	80 (550)	400	—	3	(500)
1Т321Д	160 (20000)	60	45	[40]	2,5	200 (2000)	500	(40...120)	35	2,5 (1,3)	1	80 (550)	400	—	3	(500)
1Т321Е	160 (20000)	60	45	[40]	2,5	200 (2000)	500	(80...200)	35	2,5 (1,3)	1	80 (550)	400	—	3	(500)
ГТ322А	50	80	25	[25]	—	10	4	(30...100)	—	—	—	1,8	50	4	(5)	1
ГТ322Б	50	80	25	[25]	—	10	4	(50...120)	—	—	—	1,8	100	4	(5)	1
ГТ322В	50	80	25	[25]	—	10	4	(20...120)	—	—	—	2,5	200	4	(5)	1
ГТ322Г	50	80	25	[25]	—	10	4	(50...120)	—	—	—	2,5	200	4	(5)	1
ГТ322Д	50	80	25	[25]	—	10	4	(30...100)	—	—	—	1,8	200	4	(5)	1
ГТ322Е	50	80	25	[25]	—	10	4	(50...120)	—	—	—	1,8	200	4	(5)	1

n—p—n

ГТ323А	250 (5000)	200	20	20 [10]	2	(1000)	30	(20...60)	10	2,5 (3)	0,1	30 (100)	300	—	5	(500)
ГТ323Б	250 (5000)	200	20	20 [10]	2	(1000)	30	(40...120)	10	2,5 (3)	0,1	30 (100)	300	—	5	(500)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ГТ323В	250 (5000)	300	20	20 [10]	2	(1000)	30	(80...200)	10	2,5 (3)	0,15	30 (100)	300	—	5	(500)
1Т323А	250 (5000)	200	20	20 [12]	2	(1000)	30	(20...60)	12	2,5 (3)	0,1	30 (100)	250	—	5	(500)
1Т323Б	250 (5000)	200	20	20 [12]	2	(1000)	30	(40...120)	12	2,5 (3)	0,1	30 (100)	250	—	5	(500)
1Т323В	250 (5000)	300	20	20 [10]	2	(1000)	30	(80...200)	10	2,5 (3)	0,15	30 (100)	250	—	5	(500)

 $p-n-p$

ГТ328А	50	400	15	[15]	0,25	10	10	(20...200)	—	—	—	1,5 (2,5)	5	7	(5)	3
ГТ328Б	50	300	15	[15]	0,25	10	10	(40...200)	—	—	—	1,5 (5)	10	7	(5)	3
ГТ328В	50	300	15	[15]	0,25	10	10	(10...50)	—	—	—	1,5 (5)	10	7	(5)	3

 $n-p-n$

ГТ329А	50	1200	10	10 [5]	0,5	20	5	(15...300)	5	—	—	2 (3,5)	15	4	(5)	5
ГТ329Б	50	1680	10	10 [5]	0,5	20	5	(15...300)	5	—	—	3 (3,5)	30	6	(5)	5
ГТ329В	50	990	10	10 [5]	1	20	5	(15...300)	5	—	—	3 (3,5)	20	6	(5)	5
ГТ329Г	50	690	10	10 [5]	0,5	20	5	(15...300)	5	—	—	2 (3,5)	15	5	(5)	5
1Т329А	50	1200	10	10 [5]	0,7	20	5	(15...300)	5	—	—	2, (3,5)	15	4	(5)	5
1Т329Б	50	1680	10	10 [5]	0,7	20	5	(15...300)	5	—	—	3, (3,5)	30	6	(5)	5
1Т329В	50	990	10	10 [5]	1	20	5	(15...300)	5	—	—	3, (3,5)	20	6	(5)	5
ГТ330Д	50	500	10 (20)	—	1,5	20	5	(30...400)	6	0,3 (0,7)	0,05	3 (5)	30	8	(5)	5
ГТ330Ж	50	1000	10 (20)	—	1,5	20	5	(30...400)	6	0,3 (0,7)	0,05	3 (5)	50	—	(5)	5
ГТ330И	50	500	10 (20)	—	1,5	20	5	(10...400)	6	0,3 (0,7)	0,05	3 (5)	30	8	(5)	5
1Т330А	50	1000	13 (20)	13	1,5	20	5	(30...400)	6	0,3 (0,7)	0,05	2 (5)	25	5	(5)	5
1Т330Б	50	1500	13 (20)	13	1,5	20	5	(30...400)	—	—	—	2 (5)	50	—	(5)	5
1Т330В	50	1000	13 (20)	13	1,5	20	5	(80...400)	—	—	—	2 (5)	100	—	(5)	5
1Т330Г	50	700	13 (18)	13	1,5	20	5	(30...400)	6	0,3 (0,7)	0,05	3 (5)	30	—	(5)	5

продолжение табл. 14.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>p—n—p</i>																
1Т335А	200 (500)	300	20 (35)	19 [17]	3	150 (250)	15 (40...70)	13	2 (0,45)	0,1	8,5 (35)	700	—	3	50	
1Т335Б	200 (500)	300	20 (35)	19 [17]	3	150 (250)	15 (60...100)	13	2 (0,45)	0,1	8,5 (35)	700	—	3	50	
1Т335В	200 (500)	300	20 (30)	19 [14]	3	150 (250)	15 (40...70)	10	1,5 (0,45)	0,15	10 (35)	700	—	3	50	
1Т335Г	200 (500)	300	20 (30)	19 [14]	3	150 (250)	15 (60...100)	10	1,5 (0,45)	0,15	10 (35)	700	—	3	50	
1Т335Д	200 (500)	300	20 (30)	19 [14]	3	150 (250)	15 (50...100)	10	1,5 (0,45)	0,15	10 (35)	700	—	3	50	
<i>n—p—n</i>																
ГТ341А	35	1500	10	10 [5]	0,3	10	5 (15...300)	5	—	—	1 (2)	10 4,5 (5)	5			
ГТ341Б	35	1980	10	10 [5]	0,3	10	5 (15...300)	5	—	—	1 (2)	10 5,5 (5)	5			
ГТ341В	35	1500	10	10 [5]	0,5	10	5 (15...300)	5	—	—	1 (2)	10 5,5 (5)	5			
1Т341А	35	1500	10	10 [5]	0,3	10	5 (15...250)	5	—	—	1 (2)	10 4,5 (5)	5			
1Т341Б	35	1980	10	10 [5]	0,3	10	5 (15...250)	5	—	—	1 (2)	10 5,5 (5)	5			
1Т341В	35	1500	10	10 [5]	0,5	10	5 (15...250)	5	—	—	1 (2)	10 5,5 (5)	5			
<i>p—n—p</i>																
ГТ346А	40	700	15	[15]	0,3	10	10 (10)	—	—	—	1,3	3 8 (10)	2			
ГТ346Б	40	550	15	[15]	0,3	10	10 (10)	—	—	—	1,3	3 5,5 — (10)	2			
<i>n—p—n</i>																
ГТ362А	40	2400	5	[5]	0,2	10	5 (10...200)	—	—	—	1 (1)	10 4,5 (3)	5			
ГТ362Б	40	2400	5	[5]	0,2	10	5 (10...250)	—	—	—	1 (1)	20 5,5 (3)	5			
1Т362А	40	2400	5	[5]	0,2	10	5 (10...200)	—	—	—	1 (1)	5,5 4,5 (3)	5			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>p—n—p</i>																
M4A	75	50	15	15	1,5	40 (100)	6	(20...75)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	1500	—	(1)	10
M4Б	75	50	15	15	1,5	40 (100)	6	(50...120)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	1500	—	(1)	10
M4B	75	50	15	15	1,5	40 (100)	6	(90...200)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	1500	—	(1)	10
M4Г	75	80	15	15	1,5	40 (100)	6	(20...75)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	500	—	(1)	10
M4Д	75	80	15	15	1,5	40 (100)	6	(50...120)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	500	—	(1)	10
M4E	75	80	15	15	1,5	40 (100)	6	(90...200)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	500	—	(1)	10
TM4A	75	50	15	15	1,5	40 (100)	6	(20...75)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	1500	—	1	10
TM4Б	75	50	15	15	1,5	40 (100)	6	(50...120)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	1500	—	1	10
TM4B	75	50	15	15	1,5	40 (100)	6	(90...200)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	1500	—	1	10
TM4Г	75	80	15	15	1,5	40 (100)	6	(20...75)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	500	—	1	10
TM4Д	75	80	15	15	1,5	40 (100)	6	(50...120)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	500	—	1	10
TM4E	75	80	15	15	1,5	40 (100)	6	(90...200)	12	0,5 (0,7)	3	8,5 (50)	500	—	1	10

Табл. 14.6. Параметры кремниевых транзисторов малой мощности высокой частоты

Тип тран- зистора	$P_{К макс}$, мВт	$f_{гр}$, МГц	$U_{КБ макс}$, В	$U_{КЭ макс}$, [$U_{КЭR макс}$], В	$U_{ЭБ макс}$, В	$I_{К макс}$ ($I_{К я, макс}$) [$I_{К нас, макс}$], мА	$I_{КБ0}$, мА	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$U_{КЭ0}$ гр, В	$U_{КЭ нас}$ ($U_{БЭ нас}$), В	$t_{рас}$, мкс	$C_{К}$ ($C_{Э}$), пФ	$I_{Б}$, $C_{К}$, по	Режим для h-параметров	
														$U_{КЭ}$, В	$I_{Э}$ ($I_{К}$), мА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
n—p—n															
КТ301	150	[30]	20	20	3	10	10	20...60	—	3 (2,5)	—	10 (80)	2000	(10)	3
КТ301А	150	[30]	20	20	3	10	10	40...120	—	3 (2,5)	—	10 (80)	2000	(10)	3
КТ301Б	150	[30]	30	30	3	10	10	10...32	—	3 (2,5)	—	10 (80)	4500	(10)	3
КТ301В	150	[30]	30	30	3	10	10	20...60	—	3 (2,5)	—	10 (80)	4500	(10)	3
КТ301Г	150	[60]	20	20	3	10	10	10...32	—	3 (2,5)	—	10 (80)	2000	(10)	3
КТ301Д	150	[60]	20	20	3	10	10	20...60	—	3 (2,5)	—	10 (80)	2000	(10)	3
КТ301Е	150	[60]	20	20	3	10	10	40...120	—	3 (2,5)	—	10 (80)	2000	(10)	3
КТ301Ж	150	[60]	20	20	3	10	10	80...300	—	3 (2,5)	—	10 (80)	2000	(10)	3
2Т301Г	150	30	30	[30]	3	10 (20)	5	10...32	—	3 (2,5)	5	10 (80)	4500	10	3
2Т301Д	150	30	30	[30]	3	10 (20)	5	20...60	—	3 (2,5)	5	10 (80)	4500	10	3
2Т301Е	150	30	20	[20]	3	10 (20)	5	40...120	—	3 (2,5)	8	10 (80)	2000	10	3
2Т301Ж	150	30	20	[20]	3	10 (20)	5	80...300	—	3 (2,5)	8	10 (80)	2000	10	3
КТ306А	150	300	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...60)	10	0,3 (1)	0,03	5 (4,5)	—	1	(10)
КТ306Б	150	500	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...120)	7	0,3 (1)	0,03	5 (4,5)	—	1	(10)
КТ306В	150	300	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...100)	10	—	—	5 (4,5)	500	1	(10)
КТ306Г	150	500	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...200)	7	—	—	5 (4,5)	500	1	(10)
КТ306Д	150	200	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(30...150)	10	—	—	5 (4,5)	300	1	(10)
2Т306А	150	300	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...60)	10	0,3 (1)	0,03	5 (4,5)	—	1	(10)
2Т306Б	150	500	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...120)	7	0,3 (1)	0,03	5 (4,5)	—	1	(10)
2Т306В	150	300	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...100)	10	—	—	5 (4,5)	500	1	(10)
2Т306Г	150	500	15	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...200)	7	—	—	5 (4,5)	500	1	(10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2Т316Г	150	600	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...100)	5	0,4 (1,1)	—	3 (2,5)	150	1	(10)
2Т316Д	150	800	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(60...300)	5	0,4 (1,1)	—	3 (2,5)	150	1	(10)
КТ317А	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(25...75)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
КТ317Б	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(35...120)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
КТ317В	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(80...250)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
2Т317А	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(25...75)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
2Т317Б	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(35...120)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
2Т317В	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(80...250)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
КТ318А	15	430	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(30...90)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
КТ318Б	15	430	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(50...150)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
КТ318В	15	430	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(70...280)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
КТ318Г	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(30...90)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
КТ318Д	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(50...150)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
КТ318Е	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(70...280)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
2Т318А	15	430	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(30...90)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
2Т318Б	15	430	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(50...150)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
2Т318В	15	430	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(70...280)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
2Т318Г	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(30...90)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
2Т318Д	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(50...150)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
2Т318Е	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,5	(70...280)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
КТ324А	15	800	10	[10]	4	20 (20)	0,5	(20...60)	5	0,3 (1,1)	0,01	2,5 (2,5)	—	1	(10)
КТ324Б	15	800	10	[10]	4	20 (20)	0,5	(40...120)	5	0,3 (1,1)	0,01	2,5 (2,5)	—	1	(10)
КТ324В	15	800	10	[10]	4	20 (20)	0,5	(80...250)	5	0,3 (1,1)	0,01	2,5 (2,5)	—	1	(10)
КТ324Г	15	600	10	[10]	4	20 (20)	0,5	(40...120)	5	0,3 (1,1)	0,015	2,5 (2,5)	—	1	(10)
КТ324Д	15	600	10	[10]	4	20 (20)	0,5	(20...80)	5	0,3 (1,1)	—	2,5 (2,5)	180	1	(10)
КТ324Е	15	600	10	[10]	4	20 (20)	0,5	(60...250)	5	0,3 (1,1)	—	2,5 (2,5)	180	1	(10)
2Т324А	15	800	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(20...60)	5	0,3 (1,1)	0,01	2,5 (2,5)	—	1	(10)
2Т324Б	15	800	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(40...120)	5	0,3 (1,1)	0,01	2,5 (2,5)	—	1	(10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
KT307A	15 (15)	250	10	[10]	4	20	0,5	(20)	5	0,4 (1,1)	0,03	6 (3)	—	1	(10)
KT307Б	15 (15)	250	10	[10]	4	20	0,5	(40)	5	0,4 (1,1)	0,03	6 (3)	—	1	(10)
KT307B	15 (15)	250	10	[10]	4	20	0,5	(40)	5	0,4 (1,1)	0,05	6 (3)	—	1	(10)
KT307Г	15 (15)	250	10	[10]	4	20	0,5	(80)	5	0,4 (1,1)	—	6 (3)	—	1	(10)
2T307A	15	250	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(20)	10	0,4 (1,1)	0,03	5 (3)	—	1	(10)
2T307Б	15	250	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(40)	10	0,4 (1,1)	0,03	5 (3)	—	1	(10)
2T307B	15	250	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(40)	10	0,4 (1,1)	0,05	5 (3)	—	1	(10)
2T307Г	15	250	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(80)	10	0,4 (1,1)	—	5 (3)	—	1	(10)
KT312A	225 (450)	80	20	[20]	4	30 (60)	10	(10...100)	20	0,8 (1,1)	—	5 (20)	500	(2)	20
KT312Б	225 (450)	120	35	[35]	4	30 (60)	10	(25...100)	35	0,8 (1,1)	—	5 (20)	500	(2)	20
KT312B	225 (450)	120	20	[20]	4	30 (60)	10	(50...280)	20	0,8 (1,1)	—	5 (20)	500	(2)	20
2T312A	225 (450)	80	30	[30]	4	30 (60)	10	(12...100)	15	0,5 (1,1)	0,1	5 (20)	500	2	20
2T312Б	225 (450)	120	30	[30]	4	30 (60)	10	(25...100)	30	0,5 (1,1)	0,13	5 (20)	500	2	20
2T312B	225 (450)	120	30	[30]	4	30 (60)	10	(50...250)	15	0,35 (1,1)	0,13	5 (20)	500	2	20
KT315A	150	250	—	25	6	100	1	(20...90)	15	0,4 (1,1)	—	7	300	10	1
KT315Б	150	250	—	20	6	100	1	(50...350)	15	0,4 (1,1)	—	7	500	10	1
KT315B	150	250	—	40	6	100	1	(20...90)	30	0,4 (1,1)	—	7	500	10	1
KT315Г	150	250	—	35	6	100	1	(50...350)	25	0,4 (1,1)	—	7	500	10	1
KT315Д	150	250	—	40	6	100	1	(20...90)	30	1 (1,5)	—	7	1000	10	1
KT315E	150	250	—	35	6	100	1	(50...350)	25	1 (1,5)	—	7	1000	10	1
KT316A	150	600	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...60)	5	0,4 (1,1)	0,01	3 (2,5)	—	1	(10)
KT316Б	150	800	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...120)	5	0,4 (1,1)	0,01	3 (2,5)	—	1	(10)
KT316B	150	800	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...120)	5	0,4 (1,1)	0,015	3 (2,5)	—	1	(10)
KT316Г	150	600	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...100)	5	0,4 (1,1)	—	3 (2,5)	150	1	(10)
KT316Д	150	800	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(60...300)	5	0,4 (1,1)	—	3 (2,5)	150	1	(10)
2T316A	150	600	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(20...60)	5	0,4 (1,1)	0,01	3 (2,5)	—	1	(10)
2T316Б	150	800	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...120)	5	0,4 (1,1)	0,01	3 (2,5)	—	1	(10)
2T316B	150	800	10	[10]	4	30 [50]	0,5	(40...120)	5	0,4 (1,1)	0,015	3 (2,5)	—	1	(10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2Т324В	15	800	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(80...250)	5	0,3 (1,1)	0,01	2,5 (2,5)	—	1	(10)
2Т324Г	15	600	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(40...120)	5	0,3 (1,1)	0,015	2,5 (2,5)	—	1	(10)
2Т324Д	15	600	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(20...80)	5	0,3 (1,1)	—	2,5 (2,5)	180	1	(10)
2Т324Е	15	600	10	[10]	4	20 (50)	0,5	(60...250)	5	0,3 (1,1)	—	2,5 (2,5)	180	1	(10)
КТ325А	225	800	15	[15]	4	60	0,5	(30...90)	15	—	—	2,5 (2,5)	125	5	10
КТ325Б	225	800	15	[15]	4	60	0,5	(70...210)	15	—	—	2,5 (2,5)	125	5	10
КТ325В	225	1000	15	[15]	4	60	0,5	(160...400)	15	—	—	2,5 (2,5)	125	5	10
2Т325А	225	800	15	[15]	4	60	0,5	(30...90)	15	—	—	2,5 (2,5)	125	5	10
2Т325Б	225	800	15	[15]	4	60	0,5	(70...210)	15	—	—	2,5 (2,5)	125	5	10
2Т325В	225	1000	15	[15]	4	60	0,5	(160...400)	15	—	—	2,5 (2,5)	125	5	10

—n—p

КТ326А	200	400	20	[15]	4	50	0,5	(20...70)	—	0,3 (1,2)	—	5 (4)	450	(2)	10
КТ326Б	200	400	20	[15]	4	50	0,5	(45...160)	—	0,3 (1,2)	—	5 (4)	450	(2)	10
2Т326А	250	400	20	[15]	4	50	0,5	(20...70)	—	0,3 (1,2)	—	5 (4)	450	(2)	10
2Т326Б	250	400	20	[15]	4	50	0,5	(45...160)	—	0,3 (1,2)	—	5 (4)	450	(2)	10

n—p—n

КТ331А	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(20...60)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
КТ331Б	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
КТ331В	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(80...220)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
КТ331Г	15	400	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
2Т331А	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(20...60)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
2Т331Б	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
2Т331В	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(80...220)	—	—	—	5 (8)	120	5	1
2Т331Г	15	400	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	120	5	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
КТ332А	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(20...60)	—	—	—	5 (8)	300	5	1
КТ332Б	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	300	5	1
КТ332В	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(80...220)	—	—	—	5 (8)	300	5	1
КТ332Г	15	500	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	300	5	1
КТ332Д	15	500	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(80...220)	—	—	—	5 (8)	300	5	1
2Т332А	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(20...60)	—	—	—	5 (8)	300	(5)	1
2Т332Б	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	300	(5)	1
2Т332В	15	250	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(80...220)	—	—	—	5 (8)	300	(5)	1
2Т332Г	15	500	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(40...120)	—	—	—	5 (8)	300	(5)	1
2Т332Д	15	500	15	[15]	3	20 (50)	0,2	(80...220)	—	—	—	5 (8)	300	(5)	1
КТ333А	15	450	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(30...90)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
КТ333Б	15	450	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(50...150)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
КТ333В	15	450	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(70...280)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
КТ333Г	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(30...90)	—	0,33 (1)	0,025	3,5 (4)	—	1	10
КТ333Д	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(50...150)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
КТ333Е	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(70...280)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
2Т333А	15	450	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(30...90)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
2Т333Б	15	450	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(50...150)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
2Т333В	15	450	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(70...280)	—	0,27 (0,9)	0,015	3,5 (4)	—	1	10
2Т333Г	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(30...90)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
2Т333Д	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(50...150)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
2Т333Е	15	350	10	[10]	3,5	[20] (45)	0,4	(70...280)	—	0,33 (1)	0,025	4,5 (5)	—	1	10
КТ336А	50	250	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(20...60)	—	0,3 (0,9)	0,03	5 (4)	—	1	(10)
КТ336Б	50	250	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(40...120)	—	0,3 (0,9)	0,03	5 (4)	—	1	(10)
КТ336В	50	250	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(80)	—	0,3 (0,9)	0,05	5 (4)	—	1	(10)
КТ336Г	50	450	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(20...60)	—	0,3 (0,9)	0,015	5 (4)	—	1	(10)
КТ336Д	50	450	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(40...120)	—	0,3 (0,9)	0,015	5 (4)	—	1	(10)
КТ336Е	50	450	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(80)	—	0,3 (0,9)	0,015	5 (4)	—	1	(10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2Т336А	50	250	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(20...60)	—	0,3 (0,9)	0,03	5 (4)	—	1	(10)
2Т336Б	50	250	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(40...120)	—	0,3 (0,9)	0,03	5 (4)	—	1	(10)
2Т336В	50	250	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(80)	—	0,3 (0,9)	0,05	5 (4)	—	1	(10)
2Т336Г	50	450	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(20...60)	—	0,3 (0,9)	0,015	5 (4)	—	1	(10)
2Т336Д	50	450	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(40...120)	—	0,3 (0,9)	0,015	5 (4)	—	1	(10)
2Т336Е	50	450	10	[10]	4	20 [50]	0,5	(80)	—	0,3 (0,9)	0,015	5 (4)	—	1	(10)

 $p-n-p$

КТ337А	150	500	6	[6]	4	30	1	(30)	—	0,2 (1)	0,025	6 (8)	—	0,3	10
КТ337Б	150	600	6	[6]	4	30	1	(50)	—	0,2 (1)	0,028	6 (8)	—	0,3	10
КТ337В	150	600	6	[6]	4	30	1	(70)	—	0,2 (1)	0,028	6 (8)	—	0,3	10

 $n-p-n$

КТ339А	250	300	40	25	4	25	1	(25)	25	—	—	2	25	10	7
КТ339Б	250	250	25	12	4	25	1	(15)	12	—	—	2	25	10	7
КТ339В	250	450	40	25	4	25	1	(25)	25	—	—	2	50	10	7
КТ339Г	250	250	40	25	4	25	1	(40)	25	—	—	2	100	10	7
КТ339Д	250	250	40	25	4	25	1	(15)	25	—	—	2	150	10	7
КТ340А	150	300	15	15	5	50	1	(100...300)	—	—	—	3,7 (7)	60	1	(10)
КТ340Б	150	300	20	20	5	50 (75)	1	(100)	—	0,3	0,015	3,7 (7)	—	1	(10)
КТ340В	150	300	15	15	5	50 (200)	1	(35)	—	0,4	0,015	3,7 (7)	—	2	(200)
КТ340Д	150	300	15	15	5	50	1	(40)	—	—	—	3,7 (7)	150	1	(10)
КТ342А	250	300	—	30	—	50 (300)	0,05	(100...250)	25	0,1 (0,9)	—	8	—	(5)	1
КТ342Б	250	300	—	25	—	50 (300)	0,05	(200...500)	20	0,1 (0,9)	—	8	—	(5)	1
КТ342В	250	300	—	10	—	50 (300)	0,05	(400...1000)	10	0,1 (0,9)	—	8	—	(5)	1
КТ342Г	250	300	—	60	—	50 (300)	0,05	(50...125)	25	0,2 (1,1)	—	8	—	(5)	1

 $p-n-p$

КТ343А	150	300	—	[17]	4	50 (150)	1	(30)	—	0,3	0,01	6 (8)	—	(0,3)	10
КТ343Б	150	300	—	[17]	4	50 (150)	1	(50)	—	0,3	0,02	6 (8)	—	(0,3)	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
КТ343В	150	300	—	[9]	4	50 (150)	1	(30)	—	0,3	0,01	6 (8)	—	(0,3)	10
КТ343Г	150	300	—	[17]	4	50 (150)	1	(20)	—	1	0,15	6 (8)	—	(1)	150
КТ345А	100 (300)	350	20	[20]	4	200 (300)	1	(20)	—	0,3 (1,1)	0,07	15 (30)	—	1	100
КТ345Б	100 (300)	350	20	[20]	4	200 (300)	1	(50)	—	0,3 (1,1)	0,07	15 (30)	—	1	100
КТ345В	100 (300)	350	20	[20]	4	200 (300)	1	(70)	—	0,3 (1,1)	0,07	15 (30)	—	1	100
КТ347А	150 (150)	500	15	[15]	4	50 (110)	1	(30...400)	—	0,3	0,025	6 (8)	—	(0,3)	10
КТ347Б	150 (150)	500	9	[9]	4	50 (110)	1	(30...400)	—	0,3	0,025	6 (8)	—	(0,3)	10
КТ347В	150 (150)	500	6	[6]	4	50 (110)	1	(50...400)	—	0,3	0,04	6 (8)	—	(0,3)	10

 $n-p-n$

КТ348А	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(25...75)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
КТ348Б	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(35...120)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
КТ348В	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(80...250)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
2Т348А	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(25...75)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
2Т348Б	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(35...120)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1
2Т348В	15 (100)	100	5	[5]	3,5	15 (45)	1	(80...250)	—	0,3 (0,85)	0,13	11 (22)	—	1	1

 $p-n-p$

КТ349А	200	300	20	[15]	4	(40)	1	(20...80)	—	0,3 (1,2)	—	6(8)	—	1	10
КТ349Б	200	300	20	[15]	4	(40)	1	(40...160)	—	0,3 (1,2)	—	6(8)	—	1	10
КТ349В	200	300	20	[15]	4	(40)	1	(120...300)	—	0,3 (1,2)	—	6(8)	—	1	10
КТ350А	200	100	20	[15]	4	(600)	1	(20...200)	—	0,5 (1,25)	—	70 (100)	—	1	500
КТ351А	200	200	20	[15]	4	(400)	1	(20...80)	—	0,6 (1,1)	—	15 (30)	—	1	300
КТ351Б	200	200	20	[15]	4	(400)	1	(50...200)	—	0,6 (1,1)	—	15 (30)	—	1	300

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
KT352A	200	200	20	[15]	4	(200)	1	(15...120)	—	0,6 (1,1)	0,15	15 (30)	—	1	200
KT352B	200	200	20	[15]	4	(200)	1	(70...300)	—	0,6 (1,1)	0,15	15 (30)	—	1	200

 $n - p - n$

2T354A	30		10	[10]	4	10 (20)	0,5	(40...200)	10	—	—	1,3 (1,2)	25	2	(5)
2T354B	30		10	[10]	4	10 (20)	0,5	(90...360)	10	—	—	1,3 (1,2)	30	2	(5)
KT355	225	1500	15	[15]	4	60	0,5	(80...300)	15	—	—	2 (2)	60	5	(10)
2T355	225	1500	15	[15]	4	60	0,5	(80...300)	15	—	—	2 (2)	60	5	(10)
2T356A	100	1650	10	[10]	3	40	0,5	(80...260)	10	—	—	1,2 (1,5)	20	5	(10)
2T356B	100	2010	10	[10]	3	40	0,5	(80...320)	10	—	—	1,2 (1,5)	30	5	(10)

 $p - n - p$

KT357A	100	300	6	6	3,5	40	5	(20...100)	—	0,3 (1,1)	0,15	7 (10)	—	(0,5)	(10)
KT357B	100	300	6	6	3,5	40	5	(60...300)	—	0,3 (1,1)	0,25	7 (10)	—	(0,5)	(10)
KT357B	100	300	20	20	3,5	40	5	(20...100)	—	0,3 (1,1)	0,15	7 (10)	—	(0,5)	(10)
KT357Г	100	300	20	20	3,5	40	5	(60...300)	—	0,3 (1,1)	0,25	7 (10)	—	(0,5)	(10)

 $n - p - n$

KT358A	100 (200)	80	15	[15]	4	30 (60)	10	(10...100)	15	0,8 (1,1)	—	5 (20)	500	5,5	20
KT358B	100 (200)	120	30	[30]	4	30 (60)	10	(25...100)	30	0,8 (1,1)	—	5 (20)	500	5,5	20
KT358B	100 (200)	120	15	[15]	4	30 (60)	10	(50...280)	15	0,8 (1,1)	—	5 (20)	500	5,5	20
KT359A	15	300	15	[15]	3,5	20	0,5	(30...90)	—	0,7	—	5 (6)	100	1	10
KT359B	15	300	15	[15]	3,5	20	0,5	(50...150)	—	0,7	—	5 (6)	100	1	10
KT359B	15	300	15	[15]	3,5	20	0,5	(70...280)	—	0,7	—	5 (6)	100	1	10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>p-n-p</i>															
KT360A	10	300	25	[20]	5	20 (75)	1	(20...70)	—	0,35 (1,2)	0,1	5 (7)	450	(2)	10
KT360Б	10	400	20	[15]	4	20 (75)	1	(40...120)	—	0,35 (1,2)	0,2	5 (7)	450	(2)	10
KT360B	10	400	20	[15]	4	20 (75)	1	(80...240)	—	0,35 (1,2)	0,2	5 (7)	450	(2)	10
2T360A	10	300	25	[20]	5	20 (75)	1	(25...70)	—	0,35 (1,2)	—	5 (7)	450	(2)	10
2T360Б	10	400	20	[15]	4	20 (75)	1	(40...120)	—	0,35 (1,2)	—	5 (7)	450	(2)	10
2T360B	10	400	20	[15]	4	20 (75)	1	(80...240)	—	0,35 (1,2)	—	5 (7)	450	(2)	10
KT361A	150	250	25	25	4	—	1	(20...90)	—	0,4	—	9	500	(10)	1
KT361Б	150	250	20	20	4	—	1	(50...350)	—	0,4	—	9	500	(10)	1
KT361B	150	250	40	40	4	—	1	(20...90)	—	0,4	—	7	1000	(10)	1
KT361Г	150	250	35	35	4	—	1	(50...350)	—	0,4	—	7	500	(10)	1
KT361Д	150	250	40	40	4	—	1	(20...90)	—	1	—	7	250	(10)	1
KT361E	150	250	35	35	4	—	1	(50...350)	—	1	—	7	1000	(10)	1
KT363A	150	1200	15	[15]	4	30 (50)	0,5	(20...70)	—	0,35 (1,1)	0,01	2 (2)	50	(5)	5
KT363Б	150	1500	15	[12]	4	30 (50)	0,5	(40...120)	—	0,35 (1,1)	0,005	2 (2)	75	(5)	5
2T363A	150	1200	15	[15]	4	30 (50)	0,5	(20...70)	—	0,35 (1,1)	0,01	2 (2)	50	(5)	5
2T363Б	150	1500	15	[12]	4	30 (50)	0,5	(40...120)	—	0,35 (1,1)	0,005	2 (2)	75	(5)	5
KT364A	30	250	25	[20]	5	200 (400)	1	(20...70)	—	0,3 (1,1)	0,1	15 (30)	500	(1)	100
KT364Б	30	250	25	[20]	5	200 (400)	1	(40...120)	—	0,3 (1,1)	0,13	15 (30)	500	(1)	100
KT364B	30	250	25	[20]	5	200 (400)	1	(80...240)	—	0,3 (1,1)	0,16	15 (30)	500	(1)	100
2T364A	30	250	25	[20]	5	200 (400)	1	(20...70)	—	0,3 (1,1)	0,1	15 (30)	500	1	100
2T364Б	30	250	25	[20]	5	200 (400)	1	(40...120)	—	0,3 (1,1)	0,13	15 (30)	500	1	100
2T364B	30	250	25	[20]	5	200 (400)	1	(80...240)	—	0,3 (1,1)	0,16	15 (30)	500	1	100
<i>n-p-n</i>															
2T366A	15 (25)	1000	15	10	4,5	10 (20)	0,1	(50...200)	—	0,25(0,8— 0,87)	0,05	1,1 (0,8)	60	1	(1)
2T366Б	25 (40)	1000	15	10	4,5	20 (40)	0,1	(50...200)	—	0,25(0,8—0,87)	0,08	1,8 (1,8)	50	1	(5)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2Т366В	50 (70)	1000	15	10	4,5	45 (70)	0,1	(50...200)	—	0,25(0,8— 0,87	0,12	3,3 (3,5)	40	1	(15)
2Т367А	100	1500	10	[10]	4	20 (40)	0,5	(40...330)	10	—	—	1,5 (2,7)	15	5	(10)
КТ369А	50 (1600)	200	45	[45]	4	250 (400)	10	(20...100)	—	0,8 (1,6)	0,1	15 (50)	—	(2)	150
КТ369Б	50 (1600)	200	45	[45]	4	250 (400)	10	(40...200)	—	0,8 (1,6)	0,1	15 (50)	—	(2)	150

 $p-n-p$

КТ370А	15 (30)	1000	15	[10]	4	15 (30)	0,5	(20...70)	—	0,35 (1,1)	0,01	2 (2)	50	(5)	3
КТ370Б	15 (30)	1200	15	[10]	4	15 (30)	0,5	(40...120)	—	0,35 (1,1)	0,01	2 (2)	75	(5)	3
2Т371А	100	3000	10	[10]	3	15 (30)	0,5	(30...240)	10	—	—	1,2 (1,5)	15	5	(10)
КТ373А	150	—	30	[30]	5	50 (200)	0,05	(100...250)	25	0,1 (0,9)	—	8	—	(5)	1
КТ373Б	150	—	25	[25]	5	50 (200)	0,05	(200...600)	20	0,1 (0,9)	—	8	—	(5)	1
КТ373В	150	—	10	[10]	5	50 (200)	0,05	(500...1000)	10	0,1 (0,9)	—	8	—	(5)	1
КТ373Г	150	—	60	[60]	5	50 (200)	0,05	(50...125)	25	0,2 (1,1)	—	8	—	(5)	1

Табл. 14.7. Параметры транзисторов средней мощности

Тип тран- зистора	$R_T (R_B)$, °C/Вт	P_K макс, Вт	I_K макс (I_K и. макс), А	I_B макс (I_B и. макс), А	U_{KB} макс (U_{KB} и. макс), В	$U_{ЭБ}$ макс, В	$U_{КЭ}$ макс ($U_{КЭ}$ и. макс) [$U_{КЭR}$ макс], В	$I_{КЭ0}$ макс, мА	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$f_{h21Б}$ (f_{1p}), МГц	$U_{КЭ0}$ гр, В	$U_{КЭ}$ нас ($U_{БЭ}$ нас), В	$I_{рас}$ макс	C_K ($C_{Э}$), пФ	t_B , нс	Режим для h - параметров	
																$U_{КЭ}$ (U_{KB}), В	$I_{Э}$ (I_K), А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Германиевые $p-n-p$

ГТ402Д	100	0,6	0,5	—	—	—	[25]	0,025	(30...80)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
ГТ402Е	100	0,6	0,5	—	—	—	[25]	0,025	(60...150)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
ГТ402Ж	100	0,6	0,5	—	—	—	[40]	0,025	(30...80)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
ГТ402И	100	0,6	0,5	—	—	—	[40]	0,025	(60...150)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
ГТ403А	100(15)	—	1,25	0,4	45	20	30	0,05	20...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
ГТ403Б	100(15)	—	1,25	0,4	45	20	30	0,05	50...150	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
ГТ403В	100(12)	—	1,25	0,4	60	20	45	0,05	20...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
ГТ403Г	100(15)	—	1,25	0,4	60	20	45	0,05	50...150	0,006	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
ГТ403Д	100(15)	—	1,25	0,4	60	30	45	0,05	50...150	0,006	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
ГТ403Е	100(12)	—	1,25	0,4	60	20	45	0,05	(30)	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,45)
ГТ403Ж	100(15)	—	1,25	0,4	80	20	60	0,07	20...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
ГТ403И	100(15)	—	1,25	0,4	80	20	60	0,07	(30)	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,45)
ГТ403Ю	100(15)	—	1,25	0,4	45	20	30	0,05	30...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
1Т403А	100(15)	—	1,25	0,4	(45)	20	(30)	0,05	20...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
1Т403Б	100(15)	—	1,25	0,4	(45)	20	(30)	0,05	50...150	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
1Т403В	100(12)	—	1,25	0,4	(60)	20	(45)	0,05	20...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1Т403Г	100(15)	—	1,25	0,4	(60)	20	(45)	0,05	50...150	0,006	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
1Т403Д	100(15)	—	1,25	0,4	(60)	30	(45)	0,05	50...150	0,006	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
1Т403Е	100(12)	—	1,25	0,4	(60)	20	(45)	0,05	(30)	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	—	(0,45)
1Т403Ж	100(15)	—	1,25	0,4	(80)	20	(60)	0,07	20...60	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	5	(0,1)
1Т403И	100(15)	—	1,25	0,4	(80)	20	(60)	0,07	(30)	0,008	—	0,5 (0,8)	—	—	—	—	(0,45)

n — p — n

ГТ404А	100	0,6	0,5	—	—	—	[25]	0,025	(30...80)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
	150	0,3															
ГТ404Б	100	0,6	0,5	—	—	—	[25]	0,025	(60...150)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
	150	0,3															
ГТ404В	100	0,6	0,5	—	—	—	[40]	0,025	(30...80)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
	150	0,3															
ГТ404Г	100	0,6	0,5	—	—	—	[40]	0,025	(60...150)	1	—	—	—	—	—	(1)	0,003
	150	0,3															

p — n — p

ГТ405А	100	0,6	0,5	—	—	0,35	[25]	0,025	30...80	1	—	—	—	—	—	1	0,003
ГТ405Б	100	0,6	0,5	—	—	0,35	[25]	0,025	60...150	1	—	—	—	—	—	1	0,003
ГТ405В	100	0,6	0,5	—	—	0,35	[40]	0,025	30...80	1	—	—	—	—	—	1	(0,003)
ГТ405Г	100	0,6	0,5	—	—	0,35	[40]	0,025	60...150	1	—	—	—	—	—	1	(0,003)
П607	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	20...80	(60)	25	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П607А	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	60...200	(60)	25	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П608	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	40...120	(90)	25	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П608А	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	80...240	(90)	25	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П608Б	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	40...120	(90)	40	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П609	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	40...120	(120)	25	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П609А	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	80...240	(120)	55	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)
П609Б	(15)	1,5	0,3 (0,6)	(0,15)	30	1,5	[25]	0,3	80...240	(120)	40	2 (0,6)	3	50(500)	500	3	(0,25)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$n - p - n$																	
ГТ612А	132	0,36	0,12	—	12	0,2	—	0,01	—	(1500)	9	—	—	3,5	7	—	—
1Т614А	100	0,4	0,2	—	12	0,5	[9]	0,01	(15...250)	(1000)	—	—	—	—	15	(5)	0,05
Кремниевые $n-p-n$																	
КТ601А	—	0,25	0,03	—	100	2	[100]	(0,5)	16	(40)	—	—	—	15	600	(20)	0,01
КТ602А	150(45)	0,85	0,075(0,5)	—	120 (160)	5	[100]	0,07	(20...80)	(150)	70	3 (3)	—	4 (25)	300	10	(0,01)
КТ602Б	150(45)	0,85	0,075(0,5)	—	120 (160)	5	[100]	0,07	(50)	(150)	70	3 (3)	—	4 (25)	300	10	(0,01)
КТ602В	150(45)	0,85	0,075(0,5)	—	80	5	[70]	0,07	(15...80)	(150)	40	3 (3)	—	4 (25)	300	10	(0,01)
КТ602Г	150(45)	0,85	0,075(0,5)	—	80	5	[70]	0,07	(50)	(150)	40	3 (3)	—	4 (25)	300	10	(0,01)
2Т602А	150(45)	0,85	0,075(0,5)	—	120 (160)	5	[100]	0,01	(20...80)	(150)	70	3 (3)	—	4 (25)	300	10	0,01
2Т602Б	150(45)	0,85	0,075(0,5)	—	120 (160)	5	[100]	0,01	(50...200)	(150)	70	3 (3)	—	4 (25)	300	10	0,01
КТ603А	200	0,5	0,3 (0,6)	—	30	3	[30]	0,01	(10...80)	(200)	—	1 (1,5)	0,1	15 (40)	100	(2)	0,15
КТ603Б	200	0,5	0,3 (0,6)	—	30	3	[30]	0,01	(30)	(200)	—	1 (1,5)	0,1	15 (40)	400	(2)	0,15
КТ603В	200	0,5	0,3 (0,6)	—	15	3	[15]	0,005	(10...80)	(200)	—	1 (1,5)	0,1	15 (40)	400	(2)	0,15
КТ603Г	200	0,5	0,3 (0,6)	—	15	3	[15]	0,005	(60)	(200)	—	1 (1,5)	0,1	15 (40)	400	(2)	0,15
КТ603Д	200	0,5	0,3 (0,6)	—	10	3	[10]	0,001	(20...80)	(200)	—	1 (1,5)	0,1	15 (40)	400	(2)	0,15
КТ603Е	200	0,5	0,3 (0,6)	—	10	3	[10]	0,001	(60...200)	(200)	—	1 (1,5)	0,1	15 (40)	400	(2)	0,15
2Т603А	200	0,5	0,3 (0,6)	—	30	3	[30]	0,003	(20...80)	(200)	—	0,8 (1,5)	0,07	15 (40)	400	(2)	0,15
2Т603Б	200	0,5	0,3 (0,6)	—	30	3	[30]	0,003	(60...180)	(200)	—	0,8 (1,5)	0,07	15 (40)	400	(2)	0,15
2Т603В	200	0,5	0,3 (0,6)	—	15	3	[15]	0,003	(20...80)	(200)	—	0,8 (1,5)	0,07	15 (40)	400	(2)	0,15
2Т603Г	200	0,5	0,3 (0,6)	—	15	3	[15]	0,003	(60...180)	(200)	—	0,8 (1,5)	0,07	15 (40)	400	(2)	0,15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
KT604A	150(40)	0,8	0,2	—	300	5	[250]	(0,05)	(10...40)	(40)	—	8	—	7 (50)	—	(40)	0,02
KT604Б	150(40)	0,8	0,2	—	300	5	[250]	(0,05)	(30...120)	(40)	—	8	—	7 (50)	—	(40)	0,02
KT605A	300	0,4	(0,2)	—	300	5	[250]	0,1	(10...40)	(40)	—	8	—	7 (50)	—	(40)	0,02
KT605Б	300	0,4	(0,2)	—	300	5	[250]	0,1	(30...120)	(40)	—	8	—	7 (50)	—	(40)	0,02
KT606A	(44)	2,5	0,4 (0,8)	—	60	4	[60]	(1,5)	—	(350)	—	—	—	10	10	—	—
KT606Б	(44)	2,5	0,4 (0,8)	—	60	4	[60]	(1,5)	—	(300)	—	—	—	10	12	—	—
2T606A	(44)	2,5	0,4 (0,8)	0,1	65	4	[65]	(1)	—	(350)	—	—	—	10	10	—	—
2T607A	(73)	1,5	0,15	—	40	4	35	1	—	(700)	—	—	—	4	18	—	—
KT608A	200	0,5	0,4 (0,8)	—	60 (80)	4	[60] (80)	0,01	(20...80)	(200)	—	1 (2)	0,12	15 (50)	—	(5)	0,2
KT608Б	200	0,5	0,4 (0,8)	—	60 (80)	4	[60] (80)	0,01	(40...160)	(200)	—	1 (2)	0,12	15 (50)	—	(5)	0,2
2T608A	200	0,5	0,4 (0,8)	—	60 (80)	4	[60] (80)	0,01	(25...80)	(200)	—	1 (2)	0,1	15 (50)	—	(5)	0,2
2T608Б	200	0,5	0,4 (0,8)	—	60 (80)	4	[60] (80)	0,01	(50...160)	(200)	—	1 (2)	0,1	15 (50)	—	(5)	0,2
KT610A	—	1,5	0,3	—	20	4	[20]	0,5	(50...300)	(1000)	20	—	—	3,5(18)	75(10)	—	0,15
KT610Б	—	1,5	0,3	—	20	4	[20]	0,5	(20...300)	(700)	20	—	—	3,5(18)	25(10)	—	0,15
2T610A	—	1,5	0,3	—	26	4	[26]	0,5	(50...250)	(1000)	20	—	—	4,1(18)	35(10)	—	0,15
2T610Б	—	1,5	0,3	—	26	4	[26]	0,5	(20...250)	(700)	20	—	—	4,1(18)	18(10)	—	0,15
KT611A	(40)150	0,8	0,1	—	200	3	[180]	(0,2)	(10...40)	(60)	—	8	—	5	200(40)	—	0,02
KT611Б	(40)150	0,8	0,1	—	200	3	[180]	(0,2)	(30...120)	(60)	—	8	—	5	200(40)	—	0,02
KT611В	(40)150	0,8	0,1	—	180	3	[150]	(0,2)	(10...40)	(60)	—	8	—	5	200(40)	—	0,02
KT611Г	(40)150	0,8	0,1	—	180	3	[150]	(0,2)	(30...120)	(60)	—	8	—	5	200(40)	—	0,02
KT616A	260	0,3	0,4 (0,6)	—	20	4	[20]	0,015	(40)	(200)	—	0,6 (2)	0,05	15 (50)	—	(1)	0,5
KT616Б	260	0,3	0,4 (0,6)	—	20	4	[20]	0,015	(25)	(200)	—	0,6 (2)	0,015	15 (50)	—	(1)	0,5
KT617A	215	0,5	0,4 (0,6)	—	30	4	[20]	0,005	(30)	(150)	—	0,7	—	15 (50)	120 (2)	—	0,4
KT618A	200	0,5	0,1	—	300	5	[250]	(0,05)	(30)	(40)	—	—	—	7 (50)	—	(40)	0,001

Табл. 14.8. Параметры транзисторов большой мощности низкой частоты

Тип тран- зистора	$R_T (R_B), ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$P_{K \text{ макс}} (P_{\text{макс}}, \text{Г})$ [$P_{K \text{ макс}}, \text{Г}$], Вт	$I_{K \text{ макс}} (I_{K \text{ и макс}}), \text{А}$	$I_{B \text{ макс}}, \text{А}$	$U_{KB \text{ макс}} (U_{KB \text{ и макс}}), \text{В}$	$U_{ЭБ \text{ макс}}, \text{В}$	$U_{КЭ \text{ макс}} (U_{КЭ \text{ и макс}})$ [$U_{КЭ \text{ макс}}, \text{В}$]	$I_{КЭ \text{ макс}}, \text{мА}$	$h_{21э} (h_{21э})$	$f_{h21э}, \text{МГц}$	$U_{КЭ \text{ нас}} (U_{ЭБ \text{ нас}}), \text{В}$	Режим для h -параметров	
												$U_{КЭ}, \text{В}$	$I_{Э} (I_{К}), \text{А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Германиевые $p-n-p$

П4АЭ	(2)	[20] 2	5	1,2	60	—	50	0,5	5	0,15	—	(10)	(2)
П4БЭ	(2)	[25] 3	5	1,2	70	—	60	0,4	15...40	0,15	—	(10)	(2)
П4ВЭ	(2)	[25] 3	5	1,2	40	—	35	0,4	10	0,15	—	(10)	(2)
П4ГЭ	(2)	[25] 3	5	1,2	60	—	50	0,4	15...30	0,15	—	(10)	(2)
П4ДЭ	(2)	[25] 3	5	1,2	60	—	50	0,4	30	0,15	—	(10)	(2)
П201Э	(3,5)	[10] 1	1,5	—	45	—	[30]	0,4	20	0,1	—	10	(0,2)
П201АЭ	(3,5)	[10] 1	1,5 (2)	—	45	—	[30]	0,4	40	0,2	—	10	(0,2)
П202Э	(3,5)	[10] 1	2 (2,5)	—	70	—	[55]	0,4	20	0,1	—	10	(0,2)
П203Э	(3,5)	[10] 1	2 (2,5)	—	70	—	[55]	0,4	—	0,2	—	—	—
П210А	(1) 40	60	12	—	65	25	65	8	(15)	0,1	—	2	(5)
П210Б	(1)	(45)	12	—	65	25	50	15	(10)	0,1	—	2	(5)
П210В	(1)	(45)	12	—	45	25	40	15	(10)	0,1	—	2	(5)
П210Ш	(1) 40	60	9	—	65	—	64	8	(15...60)	0,1	—	1	(7)
П213	(3,5) 35	(11,5)	5	0,5	(45)	15	[40] (30)	0,15	20...50	0,15	0,5 (0,75)	5	(1)
П213А	(4) 35	(10)	5	0,5	(45)	10	[30]	1	20	0,15	—	5	(0,2)
П213Б	(4) 35	(10)	5	0,5	(45)	10	[30]	1	40	0,15	2,5	5	(0,2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
П214	(4) 35	(10) (10)	5	0,5	(60)	15	[55] (45)	0,3	20...60	0,15	0,9 (1,2)	5	(0,2)
П214А	(4) 35	(11, 5)	5	0,5	(60)	15	[55] (45)	0,3	50...150	0,15	0,9 (1,2)	5	(0,2)
П214Б	(3,5) 35	(10)	5	0,5	(60)	15	[55] (45)	0,15	20...150	0,15	0,9 (0,6—0,9)	5	(0,2)
П214В	(4) 35	(10)	5	0,5	(60)	15	[55]	1,5	20	0,15	2,5	5	(0,2)
П214Г	(4) 35	(10)	5	0,5	(60)	15	[55]	1,5	—	0,15	2,5	5	(0,2)
П215	(4) 35	(10)	5	0,5	(80)	15	[70] (60)	0,3	20...150	0,15	0,9 (1,2)	5	(0,2)
П216	(2) 35	[30]	7,5	0,75	(40)	15	40	0,5	(18)	0,1	0,75 (1,5)	0,75	(4)
П216А	(2) 35	[24]	7,5	0,75	(40)	15	40	0,5	20...80	0,1	0,75	5	(1)
П216Б	(2,5) 35	[24]	7,5	0,75	(35)	15	35	1,5	10	0,1	0,5	3	(2)
П216В	(2,5) 35	[24]	7,5	0,75	(35)	15	35	2	30	0,1	0,5	3	(2)
П216Г	(2,5) 35	[24]	7,5	0,75	(50)	15	50	2,5	5	0,1	—	3	(2)
П216Д	(2,5) 35	[24]	7,5	0,75	(50)	15	50	2	15...30	0,1	0,5	3	(2)
П217	(2) 35	[30]	7,5	0,75	(60)	15	60	0,5	(15)	0,1	1 (1,5)	1	(4)
П217А	(2) 35	[30]	7,5	0,75	(60)	15	60	0,5	20...60	0,1	1	5	(1)
П217Б	(2) 35	[30]	7,5	0,75	(60)	15	60	0,5	20	0,1	1	5	(1)
П217В	(2,5) 35	[24]	7,5	0,75	(60)	15	60	3	15...40	0,1	0,5	3	(2)
П217Г	(2,5) 35	[24]	7,5	0,75	(60)	15	60	3	—	0,1	1 (0,8)	—	—
ГТ701А	(1,2)	50	12	0,15	55	15	55 (100)	6	(10)	0,05	—	2	5
1Т702А	(0,3) 10	(150) 5	30	5	60	4	60	12	(15...100)	—	0,6	(1,5)	(30)
1Т702Б	(0,3) 10	(150) 5	30	5	60	4	60	12	(15...100)	—	1,2	(1,5)	(30)
1Т702В	(0,3) 10	(150) 5	30	5	60	4	40	12	(20)	—	0,6	(1,5)	(30)
ГТ703А	(3) 30	[15] 1,6	3,5	—	—	—	[20] (25)	0,5	(30...70)	0,01	0,6 (1)	1	0,05
ГТ703Б	(3) 30	[15] 1,6	3,5	—	—	—	[20] (25)	0,5	(50...100)	0,01	0,6 (1)	1	0,05
ГТ703В	(3) 30	[15] 1,6	3,5	—	—	—	[30] (35)	0,5	(30...70)	0,01	0,6 (1)	1	0,05
ГТ703Г	(3) 30	[15] 1,6	3,5	—	—	—	[30] (35)	0,5	(50...100)	0,01	0,6 (1)	1	0,05
ГТ703Д	(3) 30	[15] 1,6	3,5	—	—	—	[40] (50)	0,5	(20...45)	0,01	0,6 (1)	1	0,05

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кремниевые $n-p-n$													
2Т704А	(5)	15	2,5 (4)	2	—	4	[500] (1000)	—	(10...100)	3	5 (3)	(15)	(1)
2Т704Б	(5)	15	2,5 (4)	2	—	4	[400] (700)	—	(10...100)	3	5 (3)	(15)	(1)

Табл. 14.9. Параметры транзисторов большой мощности средней частоты

Тип тран- зистора	$R_T (R_B), ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$P_K \text{ макс. т.}$ [$P_K \text{ макс. т.}$], Вт	$I_K \text{ макс. (} I_{K \text{ и, макс.}} \text{)}$ [$I_K \text{ нас макс.}$], А	$I_B \text{ макс. (} I_{B \text{ и, макс.}} \text{)}, \text{ А}$	$U_{KB} \text{ макс.}, \text{ В}$	$U_{ЭБ} \text{ макс.}, \text{ В}$	$U_{КЭ} \text{ макс. (} U_{КЭ \text{ и, макс.}} \text{)}$ [$U_{КЭR} \text{ макс.}$], В	$I_{КЭО} \text{ (} I_{КЭО} \text{) } [I_{КЭК}], \text{ мА}$	$h_{21Э}$	$f_{h21Б} (f_{гр}), \text{ МГц}$	$U_{КЭО} \text{ гр.}, \text{ В}$	$U_K \text{ нас. (} U_{Б \text{ нас.}} \text{)}, \text{ В}$	$I_{рас} (I'_{вкл.}) [I'_{выкл.}], \text{ мкА}$	$C_K (C_{Э}), \text{ пФ}$	$\tau_B, \text{ нс}$	Режим h -пара- метров	
																$U_{КЭ} (U_{KB}), \text{ В}$	$I_{Э} (I_K), \text{ А}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Германиевые $p-n-p$

П601И	(15) 50	(3) 0,5	(1,5)	—	25 0,7	[25]	0,2	20	(20)	20	2 (1,5)	6 (0,4)	170 (2500)	750	3	(0,5)
П601АИ	(15) 50	(3) 0,5	(1,5)	—	30 0,7	[30]	0,1	40...100	(20)	25	2 (1,5)	4 (0,4)	170 (2500)	750	3	(0,5)
П601БИ	(15) 50	(3) 0,5	(1,5)	—	30 0,7	[30]	0,13	80...200	(20)	25	2 (1,5)	5 (0,4)	170 (2500)	750	3	(0,5)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
П602И	(15) 50	(3) 0,5	(1,5)	—	30	0,7	[30]	0,1	40...100	(30)	25	2 (1,5)	4 (0,4)	170 (2500)	750	3	(0,5)
П602АИ	(15) 50	(3) 0,5	(1,5)	—	25	0,7	[25]	0,13	80...200	(30)	20	2 (1,5)	5 (0,4)	170 (2500)	750	3	(0,5)
П605	(5) 35	(3) 0,5	(1,5)	(0,5)	45	1	45 [40]	2	20...60	—	35	2 (1,2)	3 (0,3)	130 (2000)	500	3	(0,5)
П605А	(5) 35	(3) 0,5	(1,5)	(0,5)	45	1	45 [40]	2	40...120	—	35	2 (1,2)	4(0,35)	130 (2000)	500	3	(0,5)
П606	(5) 35	(3) 0,5	(1,5)	(0,5)	35	0,5	35 [25]	2	20...60	(30)	20	2 (1,2)	3 (0,3)	130 (2000)	500	3	(0,5)
П606А	(5) 35	(3) 0,5	(1,5)	(0,5)	35	0,5	35 [25]	2	40...120	(30)	20	2 (1,2)	4(0,35)	130 (2000)	500	3	(0,5)

Кремниевые $n-p-n$

П701	(10) 85	[10] 1	0,5 (1)	—	40	2	[40]	0,1	10...40	(12,5)	—	7	—	—	—	(10)	(0,5)
П701А	(10) 85	[10] 1	0,5 (1)	—	60	2	[60]	0,1	15...60	(12,5)	—	—	—	—	—	(10)	(0,2)
П701Б	(10) 85	[10] 1	0,5 (1)	—	35	2	[35]	0,1	30...100	(12,5)	—	—	—	—	—	(10)	(0,2)
П702	(2,5) 33	[40] 4	2	0,5	60	3	60	5	25	(4)	—	2,5	—	—	—	10	1,1
П702А	(2,5) 33	[40] 4	2	0,5	60	3	60	2,5	10	(4)	—	4	—	—	—	10	1,1
КТ801А	—	[5]	2	0,4	—	2,5	[80]	(10)	13...50	(10)	—	2	—	—	—	5	(1)
КТ801Б	—	[5]	2	0,4	—	2,5	[60]	(10)	20...100	(10)	—	2	—	—	—	5	(1)
КТ802А	(2,5)	(50)	5	1	150	3	(130)	60	15	(10)	—	5	—	—	—	10	(2)
КТ803А	(1,66)	(60)	10	—	—	4	[60] (80)	(5)	10...70	(20)	—	2,5	—	—	—	10	(5)
2Т803А	(1,66)	(60)	10	—	—	4	[60] (80)	(5)	10...50	(20)	—	2,5	2,5	—	—	(10)	(5)
КТ805А	(3,3)	30	5 (8)	2 (2,5)	—	5	(160)	(60)	15	(20)	—	2,5 (2,5)	—	—	—	10	(2)
КТ805Б	(3,3)	30	5 (8)	2 (2,5)	—	5	(135)	(60)	15	(20)	—	5 (5)	—	—	—	10	(2)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Германиевые $p-n-p$																	
ГТ806А	(2)	[30] 2	[5]	3	—	1,5	75	[15]	10...100	10	—	0,6 (1)	—	—	—	(0)	(10)
ГТ806Б	(2)	[30] 2	[15]	3	—	1,5	100	[15]	10...100	10	—	0,6 (1)	—	—	—	(0)	(10)
ГТ806В	(2)	[30] 2	[15]	3	—	1,5	120	[15]	10...100	10	—	0,6 (1)	—	—	—	(0)	(10)
ГТ806Г	(2)	[30] 2	[15]	3	—	1,5	50	[15]	10...100	10	—	0,6 (1)	—	—	—	(0)	(10)
ГТ806Д	(2)	[30] 2	[15]	3	—	1,5	140	[15]	10...100	10	—	0,6 (1)	—	—	—	(0)	(10)
1Т806А	(2)	[30] 2	[20]	3	—	2	75	[12]	10...100	10	—	0,6 (0,8)	[30]	—	—	—	(10)
1Т806Б	(2)	[30] 2	[20]	3	—	2	100	[12]	10...100	10	—	0,6 (0,8)	[30]	—	—	—	(10)
1Т806В	(2)	[30] 2	[20]	3	—	2	120	[12]	10...100	10	—	0,6 (0,8)	[30]	—	—	—	(10)

Кремниевые $n-p-n$

КТ807А	(8)	10	0,5 (1,5)	0,2	—	4	[100] (120)	(5)	15...45	—	—	1	—	—	—	5	(0,5)
КТ807Б	(8)	10	0,5 (1,5)	0,2	—	4	[100] (120)	(5)	30...100	—	—	1	—	—	—	5	(0,5)
КТ808А	(2)	(50) 5	10	4	—	4	[120] (250)	(3)	10...50	(7)	—	(2,5) 2	—	500	—	3	(6)
2Т808А	(2)	(50) 5	10	4	—	4	[120] (250)	(3)	10...50	(7)	—	(2,5) 2	—	500	—	3	(6)
2Т809А	(2,5)	[40]	3 (5)	1,5	—	4	[400]	(3)	15...100	(5,25)	—	1,5 (2,3)	2(0,25)	—	—	5	(2)

Германиевые $p-n-p$

ГТ810А	(2,5) 50	[15] 0,75	10	1,5	200	1,4	200 (250)	20	1,5	(15)	—	0,7 (0,8)	5	—	—	10	(5)

Табл. 14.10. Параметры транзисторов большой мощности высокой частоты

Тип транзистора	$R_T (R_B), ^\circ C/Bт$	$P_{Кмакс} (P_{макс}, Вт)$	$I_{Кмакс} (I_K и макс), А$	$I_B макс, А$	$U_{КВ макс} (U_{КВн макс}), В$	$U_{ЭБ макс}, В$	$U_{КЭмакс} (U_{КЭн макс}), В$	$I_{КЭО} (I_{КЭО}), мА$	$h_{21э} (h_{21э})$	$f_{гр}, МГц$	$U_{КЭО гр}, В$	$U_K наос (U_B наос), В$	$\tau_{рас}, нс$	$C_K, пФ$	$\tau_{Б К}, пс$	$P_{вых}, Вт$	Режим h -параметров	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	$U_{КЭ} (U_{КБ}), В$	$I_{Э} (I_K), А$
Германиевые, $p-n-p$																		
1Т901А	(2,5)	15	10	2	50	—	50	8	20...50	30	—	—	5	—	—	—	10	5
1Т901Б	(2,5)	15	10	2	40	—	40	8	40...100	30	—	—	5	—	—	—	10	5
Кремниевые, $n-p-n$																		
КТ902А	(3,3)	30	5	2	65	5	(110)	10	(15)	35	—	2	—	—	—	20	10	(2)
КТ903А	(3,33)	30(60)	3(10)	—	60(80)	4	[60] (80)	(10)	(15...70)	120	—	2,5	—	180	—	10	10	(2)
КТ903Б	(3,33)	30(60)	3(10)	—	60(80)	4	[60] (80)	(10)	(40...180)	120	—	2,5	—	180	—	10	10	(2)
2Т903А	(3,33)	30(60)	3(5)	—	60(80)	4	60 (80)	(2)	(15...70)	120	—	2(2)	—	180	500	10	10	(2)
2Т903Б	(3,33)	30(60)	3(5)	—	60(80)	4	60 (80)	(2)	(40...180)	120	—	2(2)	—	180	500	10	10	(2)
КТ904А	(16)	5	0,8(1,5)	0,2	60	4	[60]	(1,5)	—	350	40	—	—	12	15	3	—	—
КТ904Б	(16)	5	0,8(1,5)	0,2	60	4	[60]	(1,5)	—	300	40	—	—	12	20	2,5	—	—
2Т904А	(16)	7	0,8(1,5)	0,2	65	4	65	(1)	—	350	40	—	—	12	15	3	—	—
Германиевые, $p-n-p$																		
ГТ905А	9(50)	1,2(6)	3(7)	0,6	75	—	75	2	(35...100)	—	65	0,5(0,7)	4	—	—	—	10	3
ГТ905Б	9(50)	1,2(6)	3(7)	0,6	60	—	60	2	(35...100)	60	65	0,5	—	200	300	—	10	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1Т905А	(9)50	1,2(6)	3(7)	0,6	75	—	75	2	(35...100)	(30)	65	0,5(0,7)	4	—	—	—	10	5
1Т906А	(2,5)	15(300)	10	1,5	75	1,4	75	[8]	(30...150)	(30)	65	0,5(0,6)	5	—	—	—	10	5

Кремниевые $n-p-n$

КТ907А	7,5	13,5	1(3)	0,4	—	4	60	(3)	—	350	40	—	—	20	15	9	—	—
КТ907Б	7,5	13,5	1(3)	0,4	—	4	60	(3)	—	300	40	—	—	20	25	7	—	—
2Т907А	(7,5)	16	1(3)	0,4	—	4	[65]	(2)	—	350	40	—	—	20	15	8	—	—
КТ908А	(2)	50	10	5	—	5	[100]	(25)	(8...60)	30	—	1,5(2,3)	—	—	—	—	2	(10)
КТ908Б	(2)	50	10	5	—	5	[60]	(50)	(20)	30	—	1	—	—	—	—	4	(4)
2Т908А	(2)	(50)	10	5	140	5	[100]	(25)	(8...60)	50	—	1,5(2,3)	2(0,2)	700	—	—	2	(10)
КТ909А	—	27	2(4)	1	—	3,5	[60]	(30)	—	350	30	—	—	30	20	20	—	—
КТ909Б	—	54	4(8)	2	—	3,5	[60]	(60)	—	500	30	—	—	60	20	40	—	—
КТ909В	—	27	2(4)	1	—	3,5	[60]	(30)	—	300	30	—	—	35	30	15	—	—
КТ909Г	—	54	4(8)	2	—	3,5	[60]	(60)	—	450	30	—	—	60	30	30	—	—
2Т909А	(5)	27	2(4)	1	—	3,5	[60]	(25)	—	350	35	—	—	30	20	20	—	—
2Т909Б	(2,5)	54	4(8)	2	—	3,5	[60]	(50)	—	500	35	—	—	60	20	40	—	—

Германиевые $p-n-p$

1Т910А	(1,85)	35	10(20)	3	33	—	32	6	(50...320)	30	25	0,6	—	—	—	—	(10)	10

Кремниевые $n-p-n$

КТ911А	(33)	3	0,4	—	55	3	[40]	5	—	1000	—	—	—	10	25	1	—	—
КТ911Б	(33)	3	0,4	—	55	3	[40]	5	—	800	—	—	—	10	25	1	—	—
КТ911В	(33)	3	0,4	—	40	3	[30]	5	—	1000	—	—	—	10	50	0,8	—	—
КТ911Г	(33)	3	0,4	—	40	3	[30]	5	—	800	—	—	—	10	100	0,81	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2Т911А	(33)	3	0,4	—	55	3	[40]	3	—	1000	—	—	—	10	25	1	—	—
2Т911Б	(33)	3	0,4	—	55	3	[40]	3	—	800	—	—	—	10	25	1	—	—
2Т912А	(1,66)	30	20	10	—	5	[70](80)	(50)	(10...50)	90	—	—	—	—	—	70	(10)	(5)
2Т912Б	(1,66)	30	20	10	—	5	[70](80)	(50)	(20...100)	90	—	—	—	—	—	70	(10)	(5)
2Т917А	(2)	50(500)	10(15)	5	150	5	[150](200)	(20)	(20...60)	60	—	2(2,2)	—	—	—	50	5	(7)

Табл. 14.11. Параметры германиевых ($p-n-p$) лавинных транзисторов малой мощности¹

Буквенное обозначение параметров	ГТ338А	ГТ338Б	ГТ338В	Буквенное обозначение параметров	ГТ338А	ГТ338Б	ГТ338В
$P_{K\text{макс}}$, мВт	100	100	100	$f_{\text{макс}}$, МГц	30	30	30
R_T , °C/мВт	0,6	0,6	0,6	$U_{KЭО \text{ проб. В}}$	20	20	20
$I_{K\text{макс}}$, мА	1000	1000	1000	$t_{\text{нр}}$, нс	1	1	1
I_{KBO} , мкА	30	30	30	C_K , пФ	2	2	2
$U_{\text{н лав}}$, В	8	13	5	Диапазон рабочих температур, °C	-40...+55	-40...+55	-40...+55

¹ Определения параметров см. в 14.3 и 14.6.

Особенность работы транзистора в лавинном режиме заключается в резком улучшении высокочастотных и усилительных свойств благодаря уменьшению активной ширины базы, что наблюдается при высоких напряжениях. Вследствие этого уменьшается время диффузии носителей через базу. Другой особенностью лавинного режима является индуктивный характер реактивности на участке отрицательного сопротивления.

Непременным условием надежной работы транзисторов в лавинной области является ограничение средней мощности, рассеиваемой транзистором, которая не должна превышать максимально допустимую мощность рассеяния.

В лавинном режиме могут работать обычные биполярные транзисторы типов П416А, П416Б, П422, П423, МП20А... МП21Е и др. Однако в устройствах нано- и пикосекундной техники обычные транзисторы мало пригодны для работы в лавинном режиме. Поэтому промышленность выпускает специальные быстродействующие транзисторы типа ГТ338А...ГТ338В, вольт-амперные характеристики которых показаны на рис. 14.21, параметры приведены в табл. 14.11, цоколевка — на рис. 14.19.

Основные параметры лавинной области для некоторых типов транзисторов приведены в табл. 14.12.

14.7. Однопереходные и двухэмиттерные транзисторы

Однопереходным транзистором (двухбазовым диодом) называют трехэлектродный полупроводниковый прибор с одним $p-n$ -переходом.

Основой однопереходного транзистора ОПТ является кристалл полупроводника (например, кремния с проводимостью n -типа), называемый базой (рис. 14.20, а), в который вплавлен p -эмиттер. К торцам базы приварены омические контакты. Под воздействием напряжения источника $U_{см}$ в кристалле кремния будет течь ток, создающий на объемном сопротивлении базы $R_{Б1}$ падение напряжения, смещающее диод D_1 (рис. 14.20, б) в обратном направлении (D_1 — эмиттерный $p-n$ -переход). Если напряжение U_1 на эмиттере меньше падения напряжения на объемном сопротивлении базы, то переход закрыт и через него течет обратный ток (ток утечки) I_{10} (рис. 14.20, в). Когда же напряжение на эмиттере становится выше падения напряжения на объемном сопротивлении базы, переход открывается. Начинается инжекция дырок из эмиттера в нижнюю часть базы (диод начинает пропускать ток в прямом направлении). Сопротивление этого участка базы уменьшается, что приводит к увеличению тока I_1 в цепи эмиттера, а это в свою очередь вызывает дальнейшее уменьшение объемного сопротивления базы $R_{Б1}$. Процесс протекает лавинообразно. Сопротивление $R_{Б1}$ уменьшается быстрее, чем увеличивается ток через переход, в результате чего на вольт-амперной характеристике появляется область отрицательного сопротивления (кривая 1). При дальнейшем увеличении тока зависимость сопротивления $R_{Б1}$ от тока I_1 умень-

Табл. 14.12. Параметры транзисторов в лавинном режиме

Тип транзистора	Структура, материал и технология изготовления	U_M , В	U_B , В	$U_{и лав}^1$, В	R_T , Ом	R_H , Ом	$t_{нр}^2$, нс	C , пФ
П12, П406, П407 МП21 МП42Б	$p-n-p$, германиевые, сплавные	37...50 107...155 70...100	15...23 46...60 25...35	5 60 10...30	— 5...10 5...10	75 75 75	2...10 25...100 80...250	56 1000 1000
МП103, МП113	$n-p-n$, кремниевые, сплавные	57...100	25...55	20...30	5...10	75	1...5	51
П414 П414А П414Б П416Б П420 П422 ГТ320 ГТ313	$p-n-p$, германиевые, диффузионные	35...70 45...65 55...63 50...58 45...65 35...52 45 25...30	16...25 15...24 17...22 15...18 20...38 20...27 12 10...12	20 20 20 4...8 11...23 8...15 15...30 7	20...100 20...60 20...50 20...50 25...50 20...50 20 50	75 75 75 75 75 75 75 75	5...30 5...20 5...20 5...15 5...20 5...20 5 5...7	1000 1000 1000 100 10000 10000 100 30
ГТ311Ж	$n-p-n$, германиевый, диффузионный	30	20	10	10	75	1...3	30
КТ312В КТ315Г КТ603	$n-p-n$, кремниевые, планарно-эпитаксиальные	80...130 70...120 95...150	20...60 20...60 30...60	60...100 40...60 70...100	2...5 2...10 2...5	100 100 100	1...5 1...6 1...3	560 560 560
МТ4	$n-p-n$, кремниевый, планарно-эпитаксиальный, интегральных схем, микро-мощный	45...50	13...15	20	5	75	2...3	560

¹ Амплитуда импульса.² Время нарастания.

шается, и при значениях, больших некоторой величины ($I_{\text{выкл}}$), оно не зависит от тока (область насыщения). При уменьшении напряжения смещения вольт-амперная характеристика смещается влево (кривая 2) и при отсутствии его обращается в характеристику открытого перехода (кривая 3).

Однопереходный транзистор управляется током, его коэффициент передачи больше единицы и зависит от соотношения подвижностей носителей.

Электрическими параметрами однопереходных транзисторов являются следующие.

Обратный ток утечки эмиттерного перехода $I_{\text{ЭБО}}$ — обратный ток эмиттерного перехода, смещенного в обратном направлении от носительно базы 2.

Ток модуляции $I_{\text{Б2 мин}}$ — минимальный ток цепи базы 2 ОПТ при заданном эмиттерном токе и напряжении между базами.

Ток включения $I_{\text{вкл}}$ — значение эмиттерного тока, при котором происходит переход транзистора из закрытого состояния в открытое.

Ток выключения $I_{\text{выкл}}$ — наименьшее значение эмиттерного тока, при котором сохраняется открытое состояние.

Максимально допустимый ток эмиттера — $I_{\text{Э макс}}$.

Максимально допустимый импульсный ток эмиттера — $I_{\text{Э и, макс}}$.

Остаточное напряжение $U_{\text{БЭ нас}}$ — прямое напряжение на эмиттере при заданном токе эмиттера и межбазовом напряжении.

Максимальная частота генерации $f_{\text{макс}}$ — наибольшая частота, на которой транзистор способен генерировать в схеме автогенератора.

Время включения — $t_{\text{вкл}}$.

Максимально допустимая постоянная (средняя) рассеиваемая мощность транзистора — $P_{\text{макс}}$.

Температура окружающей среды — $t_{\text{окр}}$.

Общее тепловое сопротивление транзистора (переход — окружающая среда) — R_{T} .

Коэффициент передачи K_{n} — отношение максимально возможного эмиттерного напряжения минус падение напряжения на p — n —переходе к приложенному межбазовому напряжению.

Межбазовое сопротивление $R_{\text{Б1Б2}}$ — сопротивление между базами ОПТ при заданном межбазовом напряжении.

Максимально допустимое межбазовое напряжение — $U_{\text{Б1Б2 макс}}$.

Максимально допустимое обратное напряжение между эмиттером и базой 2 — $U_{\text{Б2Э макс}}$.

К электрическим параметрам двухэмиттерных транзисторов относятся следующие.

Ток базы $I_{\text{Б}}$ — постоянный ток, протекающий через базовый вывод.

Ток эмиттера $I_{\text{Э}}$ — постоянный ток, протекающий через эмиттерный переход.

Обратный ток коллектора $I_{\text{КБО}}$ — ток через переход коллектор — база при заданном обратном напряжении коллектор — база и разомкнутом выводе эмиттера.

Ток закрытого ключа $I_{\text{Э закр}}$ — ток через эмиттеры транзистора при закрытых переходах коллектор — база 1 и коллектор — база 2.

Максимально допустимый ток эмиттера — $I_{\text{Э макс.}}$

Максимально допустимый ток коллектора — $I_{\text{К макс.}}$

Максимально допустимый ток базы — $I_{\text{Б макс.}}$

Падение напряжения на открытом ключе $U_{\text{отк}}$ — напряжение между двумя эмиттерами транзистора при открытых переходах коллектор — база 1 и коллектор — база 2.

Максимально допустимое напряжение эмиттер — база — $U_{\text{ЭБ макс.}}$

Максимально допустимое запирающее напряжение управления между коллектором и базой 1 или коллектором и базой 2 — $U_{\text{КБ у, макс.}}$

Максимально допустимое напряжение на закрытом ключе между эмиттером 1 и эмиттером 2 — $U_{\text{Э1Э2 макс.}}$

Сопротивление открытого ключа $r_{\text{отк}}$ — сопротивление, измеряемое между эмиттерами транзистора при рабочих токах эмиттера и базы.

Время выключения — $t_{\text{выкл.}}$

Максимально допустимая постоянная (или средняя) рассеиваемая мощность транзистора — $P_{\text{макс.}}$

Температура окружающей среды — $t_{\text{окр.}}$

Общее тепловое сопротивление транзистора (переход — окружающая среда) — R_{T} .

Параметры однопереходных, двухэмиттерных транзисторов и транзисторных матриц приведены в табл. 14.13., 15.15, их цоколевка «Логика-Т»:

14.8. Электрические параметры транзисторов

чехословацкого производства и их отечественные аналоги

Электрические параметры чехословацких транзисторов и их отечественные аналоги приведены в табл. 14.16.

14.9. Транзисторные элементы серии «Логика-Т»

В соответствии с ГОСТ 5.2177—74 установлена следующая структура условного обозначения транзисторных элементов серии «Логика-Т»:

Т	0	00	00	Условное обозначение серии
				Обозначение группы элемента: 1 — логическая; 2 — функциональная; 3 — времени; 4 — выходные усилители
				Порядковый номер элемента в группе от 1 до 99
				Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150—69

Табл. 14.13. Параметры однопереходных транзисторов

Тип транзистора	$P_{\text{макс}}, \text{ мВт}$	$R_T, ^\circ\text{C/мВт}$	$U_{\text{Б1Б2 макс}}, \text{ В}$	$U_{\text{БЭ макс}}, \text{ В}$	$I_{\text{Э макс}}$ ($I_{\text{Э и макс}}$), мА	$I_{\text{ЭБ0}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{вкл}}, \text{ мкА}$	$I_{\text{выкл}}, \text{ мкА}$	$U_{\text{БЭ нас}}, \text{ В}$	$R_{\text{Б1Б2}}, \text{ ком}$	$K_{\text{п}}$	$t_{\text{вкл}}, \text{ мкс}$	$f_{\text{макс}}, \text{ кГц}$	$I_{\text{Б2 мин}}, \text{ мА}$	Диапазон рабочих темпера- тур, $^\circ\text{C}$
КТ117А	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	4...9	0,5...0,7	3	200	10	-60...+125
КТ117Б	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	4...9	0,65...0,9	3	200	10	-60...+125
КТ117В	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	8...12	0,5...0,7	3	200	10	-60...+125
КТ117Г	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	8...12	0,65...0,9	3	200	10	-60...+125
2Т117А	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	4...7,5	0,5...0,7	3	200	10	-60...+125
2Т117Б	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	4...7,5	0,65...0,85	3	200	10	-60...+125
2Т117В	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	6...9	0,5...0,7	3	200	10	-60...+125
2Т117Г	300	0,33	30	30	50(1000)	1	20	1	5	6...9	0,65...0,85	3	200	10	-60...+125
КТ119А	60	1,2	20	20	10(50)	1	0,5...5	1...6	2,5	4...12	0,5...0,65	—	200	—	-45...+85
КТ119Б	60	1,2	20	20	10(50)	1	0,5...5	1...6	2,5	4...12	0,6...0,75	—	200	—	-45...+85

Табл. 14.14. Параметры кремниевых ($p-n-p$) двухэмиттерных транзисторов

Тип транзистора	$P_{\text{макс}}$, мВт	R_T , °C/мВт	$U_{\text{КБ у. макс.}}$, В	$U_{\text{ЭБ2 макс.}}$, В	$U_{\text{ЭБ макс.}}$, В	$I_{\text{К макс.}}$, мА	$I_{\text{Э макс.}}$, мА	$I_{\text{Б макс.}}$, мА	$I_{\text{Э экр.}}$, мкА	$I_{\text{КБ10.}}$, мкА	$I_{\text{КБ20.}}$, мкА	$U_{\text{отк.}}$, В	$U_{\text{у.}}$, В	$r_{\text{отк.}}$, Ом	$r_{\text{выкл.}}$, нс	Диапазон рабочих температур, °C
КТ118А	100	0,4	15	30	31	50	25	25	0,1	0,1	0,1	0,2	1,3	20 100	500	-60...+125
КТ118Б	100	0,4	15	15	16	50	25	25	0,1	0,1	0,1	0,2	1,3	20 100	500	-60...+125
КТ118В	100	0,4	15	15	16	50	25	25	0,1	0,1	0,1	0,15	1,3	40 120	500	-60...+125
2Т118А	100	0,4	15	30	31	50	25	25	0,1	0,1	0,1	0,2	1	20 100	500	-60...+125
2Т118Б	100	0,4	15	15	16	50	25	25	0,1	0,1	0,1	0,2	1	20 100	500	-60...+125
2Т118В	100	0,4	15	15	16	50	25	25	0,1	0,1	0,1	0,15	1	40 120	500	-60...+125

Табл. 14.15. Параметры транзисторных матриц ¹

Тип матрицы	$P_{\text{К макс.}}$ ($P_{\text{К и макс.}}$, $[P_{\text{макс}}]$, Вт)	$f_{\text{гр.}}$, МГц	R_T , °C/Вт	$U_{\text{КБ макс.}}$, В	$U_{\text{КЭ макс.}}$ ($U_{\text{КЭР макс.}}$, В)	$U_{\text{ЭБ макс.}}$ ($U_{\text{ЭБ и макс.}}$, В)	$I_{\text{К макс.}}$ ($I_{\text{К и макс.}}$, А)	$I_{\text{Б и макс.}}$, А	$I_{\text{КБ0.}}$, мкА	$h_{21э}$	$U_{\text{КЭ0гр.}}$, В	$U_{\text{КЭ нао}}$ ($U_{\text{БЭ нао}}$, В)	$t_{\text{рао}}$ ($t_{\text{вкл.}}$, мкс)	$C_{\text{х}}$ ($C_{\text{э}}$), пФ	Диапазон рабочих температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Германиевые $p-n-p$

ГТС609А	0,5(5)	30	84	50	50	2,5(3)	(0,7)	0,1	40	30...100	30	1,6(1,1)	0,7(0,1)	50(250)	-40...+60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ГТС609Б	0,5(5)	30	84	50	50	2,5(3)	(0,7)	0,1	40	50...160	30	1,6(1,1)	0,7(0,1)	50(250)	-40...+60
ГТС609В	0,5(5)	30	84	50	50	2,5(3)	(0,7)	0,1	40	80...240	30	1,6(1,1)	0,7(0,1)	50(250)	-40...+60
1ТС609А	0,5(5)	—	84	50	50	2,5(3)	0,7	0,1	30	33...100	30	1,6(1,1)	0,7(1,1)	50(250)	-60...+70
1ТС609Б	0,5(5)	—	84	50	50	2,5(3)	0,7	0,1	30	53...160	30	1,6(1,1)	0,7(1,1)	50(250)	-60...+70

Кремниевые $n-p-n$

2ТС613А	[0,8] (3,2)	200	125	60	60[50]	4	0,4(0,8)	—	5	25...100	—	1(2)	0,1	15(50)	-60...+125
2ТС613Б	[0,8] (3,2)	200	125	60	60[50]	4	0,4(0,8)	—	5	40...200	—	1(2)	0,1	15(50)	-60...+125

Кремниевые $p-n-p$

2ТС622А	0,4(10)	200	218	45	[45]	4	0,4(0,6)	—	10	25...150	—	1,3(2,2)	0,12(0,35)	15(60)	-60...+125

¹ Определения параметров см. в 14.3.

Табл. 14.16. Параметры транзисторов чехословацкого производства и их отечественные аналоги

Тип транзистора	$P_{K\text{макс}}$, Вт	$t_{гр}$ ($f_{h21Б}$), МГц	$U_{КБ\text{ макс}}$, В	$U_{ЭБ\text{ макс}}$, В	$I_{K\text{макс}}$ ($I_{К\text{ и макс}}$), А	$h_{21э}$ ($h_{21э}$)	$K_{ш}$, дБ (при частоте, МГц)	C_K ($C_{Кпс}$) пФ	Примерные аналоги
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GCN55	0,125	1	32	10	0,125(0,25)	50...250	—	—	ГТ108Г, МП41А МП20Б
GCN56	0,125	0,3	60	10	0,125(0,25)	59...250	—	—	МП21Д
GC500	0,55	0,5	24	10	0,3(0,6)	50	15(0,001)	—	ГТ403А, ГТ402Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GC501	0,55	1	24	10	0,3(0,6)	95	15(0,001)	—	ГТ403Б, ГТ402Б
GC502	0,55	1	32	20	0,3(0,6)	95	—	—	ГТ403Б, ГТ402Б
GC507	0,125	0,3	32	10	0,125(0,25)	45...120	15(0,001)	—	МП39Б, МП41А, МП20А
GC508	0,125	0,3	32	10	0,125(0,25)	65...220	—	—	МП41, МП20Б
GC509	0,125	0,3	60	10	0,125(0,25)	(45)	—	—	МП21Д
GC510	0,2	1	32	10	1	60...175	—	85	ГТ403Б
GC510K	0,3	1	32	10	1	60...175	—	85	ГТ403Б
GC512	0,2	0,7	25	10	1	(25)	—	85	ГТ403Б
GC512K	0,3	0,7	25	10	1	(25)	—	85	ГТ403Б
GC515	0,125	(0,3)	32	10	0,125	20...40	12	—	МП39Б
GC516	0,125	(0,3)	32	10	0,125	30...60	12	—	МП39Б
GC517	0,125	(0,3)	32	10	0,125	50...100	12	—	ГТ108Б, ГТ108Д
GC518	0,125	(0,3)	32	10	0,125	75...150	12	—	ГТ108Б, ГТ108Д
GC519	0,125	(0,3)	32	10	0,125	125...250	12	—	ГТ108Б, ГТ108Д
GC520	0,2	1	32	—	1	60...175	—	—	ГТ404Г
GC520K	0,3	1	32	—	1	60...175	—	—	ГТ404Г
GC523	0,2	1	20	—	1	(25)	—	—	ГТ404А
GC522K	0,3	1	20	—	1	(25)	—	—	ГТ404А
GC525	0,13	0,6	15	10	0,125(0,25)	20...150	10(0,001)	—	МП38А, МП36А
GC526	0,13	0,6	32	10	0,125(0,25)	20...150	10(0,001)	—	МП37Б, МП36А, МП38А
GC527	0,13	0,6	32	10	0,125(0,25)	50...150	6(0,001)	—	МП36А, МП38А
GFY50	0,05	30	20	1	0,01	30...350	8(1)	5(100)	ГТ322Б, ГТ309Г П416Б
GF505	0,06	170	24	0,3	0,01	25	7,5(200)	0,8(15)	ГТ313Б, ГТ328А
GF506	0,06	170	24	0,3	0,01	10	7,5(200)	0,8(15)	ГТ313Б, ГТ328А
GF507	0,06	250	20	0,3	0,01	50	9(800)	0,4(5)	ГТ346Б
GF514	0,06	75	32	0,5	0,01	140	8,5(100)	5(24)	ГТ322А
GF515	0,06	45	32	0,5	0,01	140	2(1)	5(24)	ГТ310Б, ГТ310Е ГТ322А
GF516	0,06	45	32	0,5	0,01	140	2(1)	5(60)	ГТ310Б, ГТ310Е ГТ322А
GF517	0,06	30	20	0,5	0,01	100	2(1)	5(100)	ГТ322Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KC147	0,2	150	45	5	0,1	125...500	10(0,001)	4,5	КТ342Б
KC148	0,2	150	20	5	0,1	125...500	10(0,001)	4,5	КТ342Б
KC149	0,2	150	20	5	0,1	240...900	4	4,5	КТ342Б
KC507	0,3	150	45	5	0,1	125...500	10(0,001)	4,5	КТ342Б
KC508	0,3	150	20	5	0,1	125...500	10(0,001)	4,5	КТ342Б
KC509	0,3	150	20	5	0,1	240...900	4	4,5	КТ342Б
KC601	35	10	40	5	10	—	—	—	КТ803А, П702, КТ805Б
KSY21	0,36	300	40	5	0,5	(10)	—	6	КТ340Г
KSY34	0,8	250	60	5	0,6	(25)	—	6	КТ608А, КТ608Б
KSY62А	0,35	200	25	5	0,2	(20...60)	—	5	КТ340В
KSY62В	0,35	200	25	5	0,2	(30...300)	—	5	КТ340В
KSY63	0,35	300	40	5	0,2	(30...120)	—	6	КТ340В
KSY71	0,36	500	40	5	(0,5)	(20)	—	4	КТ340Г
KSY81	0,36	400	12	4	0,2	(30)	—	6	КТ343Г
KF124	0,22	300	30	5	0,03	130	—	—	КТ315Б КТ315Г
KF125	0,22	220	30	5	0,03	50	3,5(1)	—	КТ315Б КТ315Г
KF173	0,26	400	40	4	0,025	(38)	—	—	КТ339А
KF503	0,7	90	100	5	0,05	(80)	—	3,5	КТ602Б
KF504	0,7	90	170	5	0,05	(80)	—	3,5	КТ602Б, КТ611Г
KF524	0,145	300	30	5	0,03	75...750	—	1,5	КТ342А
KFY34	0,8	60	75	7	0,5	(35)	10(0,001)	25	КТ602Г, КТ603Б
KFY46	0,8	70	75	7	0,5	(75)	8(0,001)	25	КТ602Г, КТ603Б
KS500	0,3	200	25	5	0,2	(20)	—	5	КТ340В
KU512	70	9	210	5	10	(10)	—	—	КТ808А
KU601	10	9	60	3	2	(20)	—	250	КТ801Б, КТ807А, КТ807Б
KU602	10	9	120	3	2	(20)	—	250	КТ801А, КТ807А, КТ807Б
KU605	50	5	200	6	10	(10)	—	600	КТ805А, КТ807А
KU606	50	5	120	6	8	(5)	—	600	КТ802А, КТ805Б
KU607	70	9	210	5	10	(10)	—	500	КТ808А
KU611	10	15	50	1	3	(20)	—	—	КТ801Б, КТ808А, КТ807Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
KU612	10	15	80	1	3	(20)	—	—	КТ801А, КТ807А, КТ807Б
OC26	12,5	0,15	32	10	3,5	20...75	—	—	ГТ703А
OC27	12,5	0,15	32	10	3,5	60...180	—	—	ГТ703Б
OC30	0,6	0,15	32	10	1,4	18...110	—	—	ГТ402А, ГТ403Б
OC70	0,125	(0,3)	32	—	0,01(0,05)	20...40	15(0,001)	—	МП39Б
OC71	0,125	(0,4)	32	—	0,01(0,05)	30...75	15(0,001)	—	МП39Б, МП41
OC72	0,125	0,25	32	10	0,05(0,25)	45...120	15(0,001)	—	МП41А, МП20А
OC75	0,215	(0,7)	32	—	0,01(0,05)	65...130	15(0,001)	—	МП41А
OC76	0,125	0,25	32	10	0,125	45...330	—	—	МП41А, МП42Б
OC77	0,125	(0,25)	60	10	0,125	45	—	—	МП41А, МП42Б
OC169	0,05	30	20	4	0,01	20...300	8(0,45)	—	ГТ305Б, ГТ309Г, ГТ322Б
OC170	0,05	30	20	4	0,01	20...300	8(0,45)	—	ГТ305Б, ГТ309Г, ГТ322Б
2NU72	4	0,1	24	8	1,5	10	—	—	ГТ402А, ГТ403Б
3NU72	4	0,1	32	10	1,5	10	—	—	ГТ402А, ГТ403Б
4NU72	4	0,1	48	15	1,5	10	—	—	ГТ402Б, ГТ403Б
5NU72	4	0,1	60	20	1,5	10	—	—	ГТ402Б, ГТ402Г, ГТ403Д
2NU73	12,5	0,15	24	8	3,5	10	—	—	П213А, П213Б, ГТ703А, ГТ703Б
3NU73	12,5	0,15	32	10	3,5	10	—	—	П213А, П213Б, ГТ703А, ГТ703Б
4NU73	12,5	0,15	48	15	3,5	10	—	—	П214А, П214Г, ГТ703А
5NU73	12,5	0,15	60	20	3,5	10	—	—	П214А, П214Г, ГТ703А
6NU73	12,5	0,15	70	25	3,5	10	—	—	П215
7NU73	12,5	0,15	80	30	3,5	10	—	—	П215
2NU74	50	0,15	50	10	(15)	20...60	—	—	ГТ701А, П210Б
4NU74	50	0,15	60	15	(15)	20...60	—	—	ГТ701А, П210Б
6NU74	50	0,15	90	15	(15)	20...60	—	—	П210Б, ГТ701А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
101NU70	0,03	(0,2)	10	—	(0,1)	5	15(0,001)	—	МП35, МП36А
102NU70	0,05	(0,5)	20	—	(0,1)	12	15(0,001)	—	МП35, МП36А
103NU70	0,05	(0,5)	20	—	(0,1)	20	15(0,001)	—	МП36А МП37Б
104NU70	0,05	(0,5)	20	—	(0,1)	20	—	—	МП36А МП37Б
105NU70	0,125	(0,6)	32	10	0,01(0,05)	20...40	10(0,001)	—	МП36А МП37Б
106NU70	0,125	(0,8)	32	10	0,01(0,05)	30...75	10(0,001)	—	МП36А МП37Б
107NU70	0,125	(1)	32	10	0,01(0,05)	65...130	10(0,001)	—	МП38А МП36А
101NU71	0,125	0,7	30	10	(0,25)	45...120	10(0,001)	—	МП38А МП36А
102NU71	0,125	0,7	30	10	(0,25)	65...220	—	—	МП38А
103NU71	0,125	0,7	48	10	0,01(0,025)	45...220	—	—	МП37Б
104NU71	0,125	0,7	20	10	(0,25)	45...120	10(0,001)	—	МП38А, МП36А
152NU70	0,05	(2,5)	10	5	0,005(0,01)	20...100	10(0,25)	—	МП38А, МП36А
153NU70	0,05	(1)	10	5	0,005(0,01)	10...40	20(0,25)	—	МП38А МП36А
154NU70	0,05	(2,5)	10	5	0,005(0,01)	10...40	20(0,25)	—	МП38А МП36А
155NU70	0,083	(3)	15	8	0,01(0,015)	25...125	—	—	МП38А

Табл. 14.17. Параметры транзисторных элементов типа Т-101...Т-107

Термины параметров	Т-101	Т-102	Т-103	Т-104	Т-105	Т-106	Т-107
1	2	3	4	5	6	7	8
Назначение	ИЛИ—НЕ	Схемы счетчиков, реализация функции «ПАМЯТЬ»		Размножение входов элементов Т-102	Размножение входов элементов Т-103	Реализация функции «ИЛИ»	Реализация функции «И» (две схемы) «ИЛИ» (одна схема)
Рабочая частота, кГц	5	2...5	≤0,3	≤5	≥0,3	≤5	≤5
Ток потребления, мА:							
по цепи питания	2×17	24	50	—	—	—	14
по цепи смещения	2×1,5	3	10	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение питания, В	—12	—12	—24	—12	—24	—	—12
Напряжение смещения, В	6	6	6	—	—	—	—
Уровень пульсации напряжений питания и смещения, %	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	—	7,5
Напряжение выходного сигнала «0», В	0,5	0,3	0,5	—	—	—	—
Вид транзисторного элемента	Две трех- выходные схемы	Триггеры счетные		Две незави- симые схемы	—	Три незави- симые схемы диодных приставок	Универсаль- ные диодные приставки
Время переключения, мкс	—	5	5	—	—	—	—
Ток запуска, мА	—	10	25	—	—	—	—
Амплитуда запускающего импуль- са, В	—	4...8	4...24	—	—	—	—
Длительность запускающего импуль- са, мкс	—	100	1600	—	—	—	—
Длительность фронта запускающего импульса, мкс	—	10	20	—	—	—	—
Амплитуда выходных импульсов, В	—	—	—	1	1,5	—	—
Номинальный ток через диоды, мА	—	—	—	—	—	15	15
Обратный ток диодов, мкА	—	—	—	—	—	15	800
Прямое падение напряжения на дио- дах, В	—	—	—	—	—	1,5	0,8

Табл. 14.18. Параметры транзисторных элементов типа Т-201 ... Т-203

Термины параметров	Т-201	Т-202	Т-203
Назначение	Гальваническое разделение и согласование первичных цепей и входов элементов серии «Логика Т», передача сигналов на переключение элементов от источников сигнала постоянного и переменного токов	Преобразование плавно изменяющегося входного напряжения в дискретный выходной сигнал	Сравнение двух напряжений постоянного тока
Ток потребления, мА: по цепи питания по цепи смещения	35 14	18 5	20 1,5
Напряжение питания, В Напряжение смещения, В	— —	—12 6	—12 6
Уровень пульсации напряжений питания и смещения, %	—	3	3,5
Напряжение выходного сигнала «0», В	≤ 0,2	0,5	
Вид транзисторного элемента	—	трехвходовой для элементов Т-101	нуль-орган
Время срабатывания, мс	—	—	10
Длительность выходных импульсов, мкс	—	—	20
Амплитуда выходных импульсов сигнала «1», В	—	—	4
Пределы сравнения напряжений, В	—	—	0,2...12

Пример условного обозначения транзисторного элемента логической группы для реализации функции «ИЛИ—НЕ», климатического исполнения У, категории размещения 2:

Элемент транзисторный типа Т-101 У2 ГОСТ 5.2177—74.

Транзисторные элементы выпускаются следующих типов: Т-100, Т-200, Т-300, Т-400. По способу соединения с внешним монтажом элементы изготавливаются двух исполнений: 1 — с выводами под проводной монтаж способом пайки; 2 — с выводами для установки элементов в печатных схемах.

Электрические параметры транзисторных элементов логической группы приведены в табл. 14.17...14.20.

Табл. 14.19. Параметры транзисторных элементов типа Т-301 ... Т-304

Термины параметров	Т-301	Т-302	Т-303	Т-304
Назначение	Задержка импульсов, в качестве фильтра	Формирование одиночных импульсов при получении линий задержек, одно-вибраторов, мультивибраторов	Задержка выходного сигнала после появления входного сигнала	
Входное сопротивление, кОм	—	—	$1,3 \pm 10\%$	
Ток потребления, мА:				
по цепи питания	—	—	25	35
по цепи смещения	—	—	5	5
Напряжение питания, В	—	—12	—12	—12
Напряжение смещения, В	—	—	6	6
Уровень пульсации напряжений питания и смещения, %	—	3	7,5	7,5
Напряжение входного сигнала «1», В	—	—	4...12	4...12
Напряжение выходного сигнала «0», В	—	0,3	0,2	0,2
Вид транзисторного элемента	Три независимые схемы	Две независимые схемы	Трехходовой	Должен допускать работу на одну схему «ИЛИ—НЕ» (Т-101) и одну схему «И» (Т-107) или на пять схем «И»
Амплитуда выходных импульсов, В (при $U_{вх} = 10,2$ В, $r_n = 1,3$ кОм)	4	10	—	—
Постоянная времени заряда, мкс	$75 \pm 25\%$	—	—	—
Напряжение входного сигнала, В	—	—	1	1
Максимальная задержка выходного сигнала, с	—	—	15	150
Коэффициент использования емкости, мкФ/с	—	—	≤ 7	≤ 1
Время готовности к повторному действию, с	—	—	0,5	5
Кратность регулирования установки срабатывания (плавно)	—	—	≥ 10	≥ 10
Разброс установки срабатывания, %	—	—	± 3	$\pm 4,5$
Изменение среднего значения выдержки времени	—	—	± 20	± 15
Изменение длительности выходного импульса, %	—	± 20	—	—
Длительность переднего фронта выходного импульса, мкс	—	10	—	—

Примечание. Параметры для транзисторных элементов типа Т-302 следующие:

Соединение выводов	Ток, потребляемый элементом по цепи питания при номинальном напряжении, мА	Коэффициент использования емкости при $U_{вх} = U_{пит}$, мкФ/о	Нагрузочная способность схемы элемента
13—4 13—3	2×14	100	1 схема «И» (Т-107) и 2 схемы «ИЛИ—НЕ» (Т-101)
13—1 13—2	2×15	230	3 схемы «И» (Т-107) и 2 схемы «ИЛИ—НЕ» (Т-101)
13—1—3 13—2—4	2×16	340	5 схем «И» (Т-107) и 2 схемы «ИЛИ—НЕ» (Т-101)

15. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

15.1. Устройство и принцип действия

Полевыми называют транзистор, в котором ток через канал управляется электрическим полем, возникающим при приложении напряжения между затвором и истоком (ГОСТ 15133—69).

Отличительной особенностью полевых транзисторов является то, что они, подобно электронным лампам, управляются напряжением. Полевые транзисторы объединяют в себе лучшие свойства ламп и биполярных транзисторов. Разработаны два варианта полевых транзисторов, отличающихся друг от друга как методом изготовления, так и электрическими характеристиками. Это — транзисторы с $p-n$ — переходом и с изолированным затвором.

Транзистор с электронно-дырочным переходом. Устройство полевого транзистора с каналом p -типа показано на рис. 15.1, а. Основой его конструкции является пластина кремния с электронной проводимостью, в которой методом диффузии образован канал — тончайший слой с дырочной проводимостью. По краям канала, также методом диффузии, образованы более массивные участки с дырочной проводимостью. Края канала имеют выводы, называемые *истоком* и *стоком*. Удельное сопротивление краев меньше, чем самого канала, что достигается увеличением концентрации атомов донорной примеси. Сама пластина кремния с электронной проводимостью является управляющим электродом и называется *затвором*.

В соответствии с ГОСТ 15133—69 канал полевого транзистора называют область в полупроводнике, в которой поток носителей заряда регулируется изменением ее поперечного сечения. Канал может быть n - или p -типа в зависимости от электропроводности полупроводника.

Истоком называют электрод полевого транзистора, через который в канал втекают носители заряда. *Стоком* называют электрод

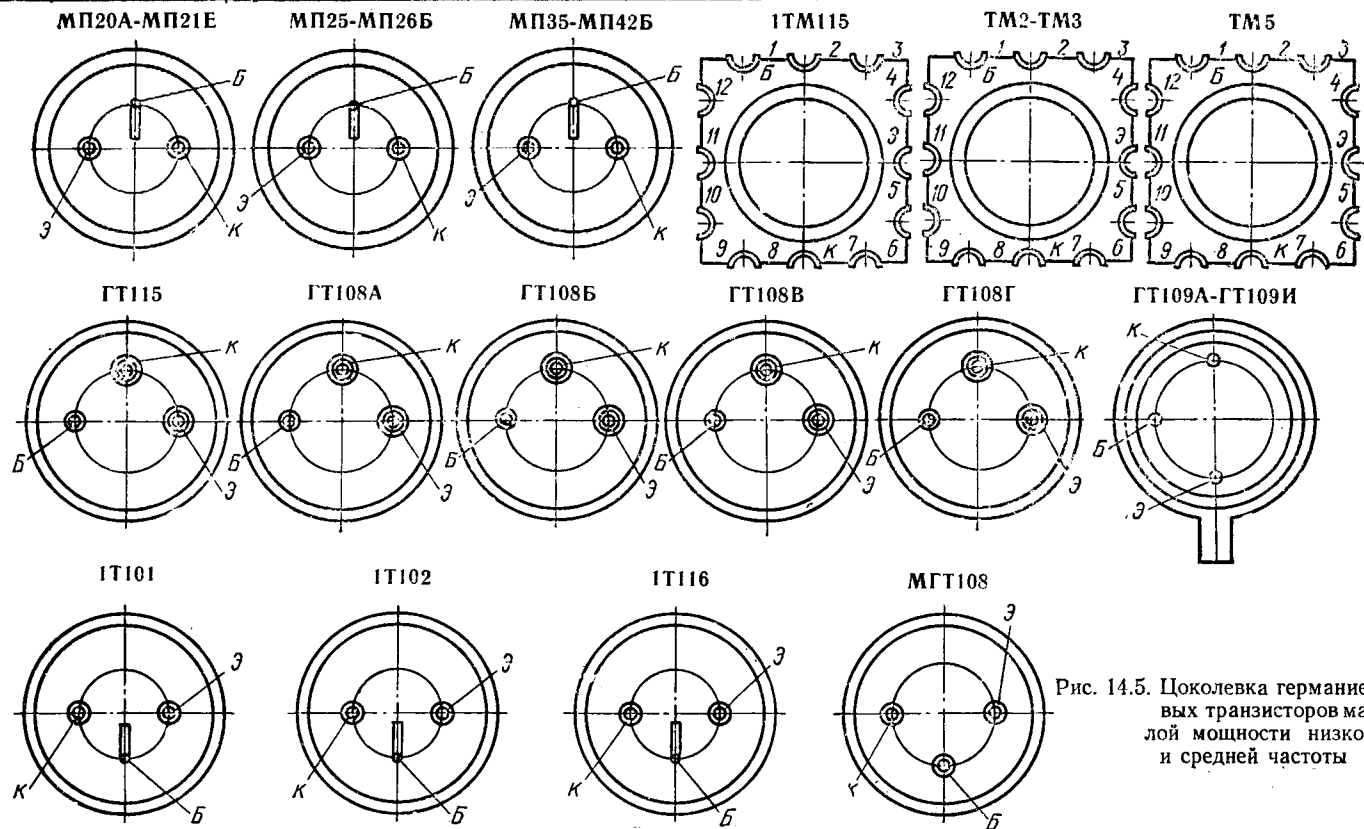


Рис. 14.5. Цоколевка германиевых транзисторов малой мощности низкой и средней частоты

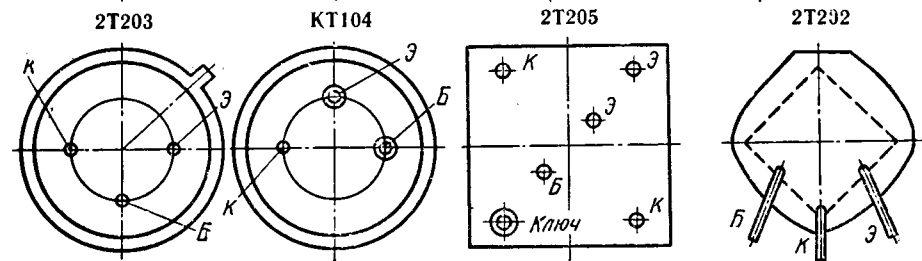
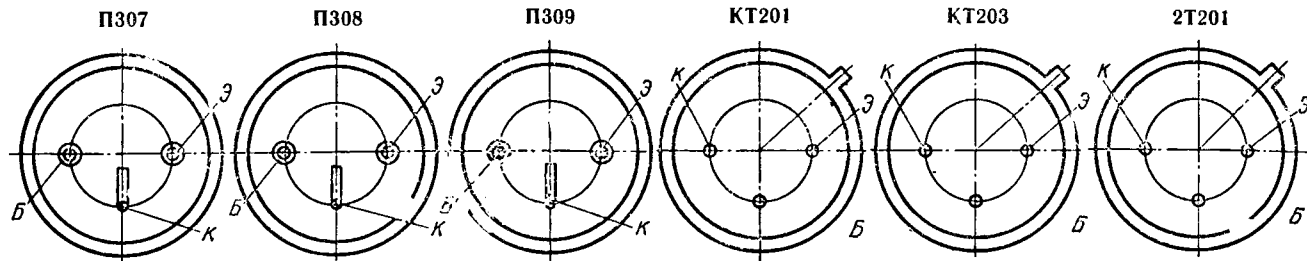


Рис. 14.6. Цоколевка кремниевых транзисторов малой мощности низкой и средней частоты

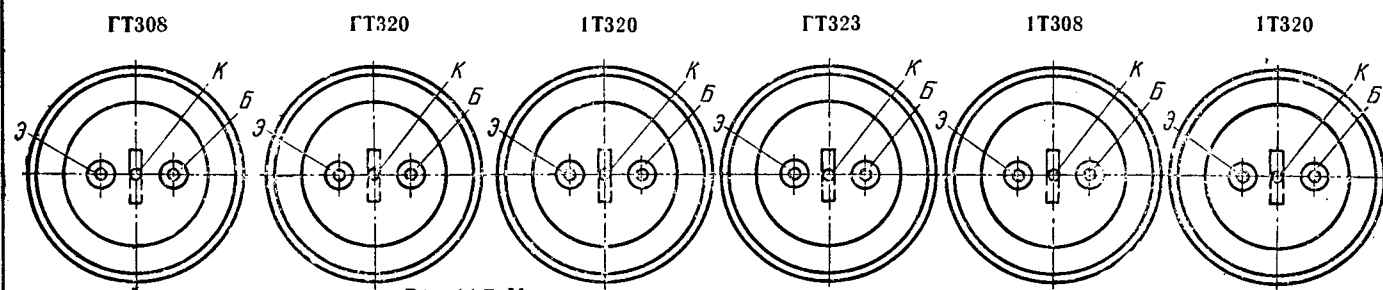


Рис. 14.7. Цоколевка германиевых транзисторов малой мощности высокой частоты

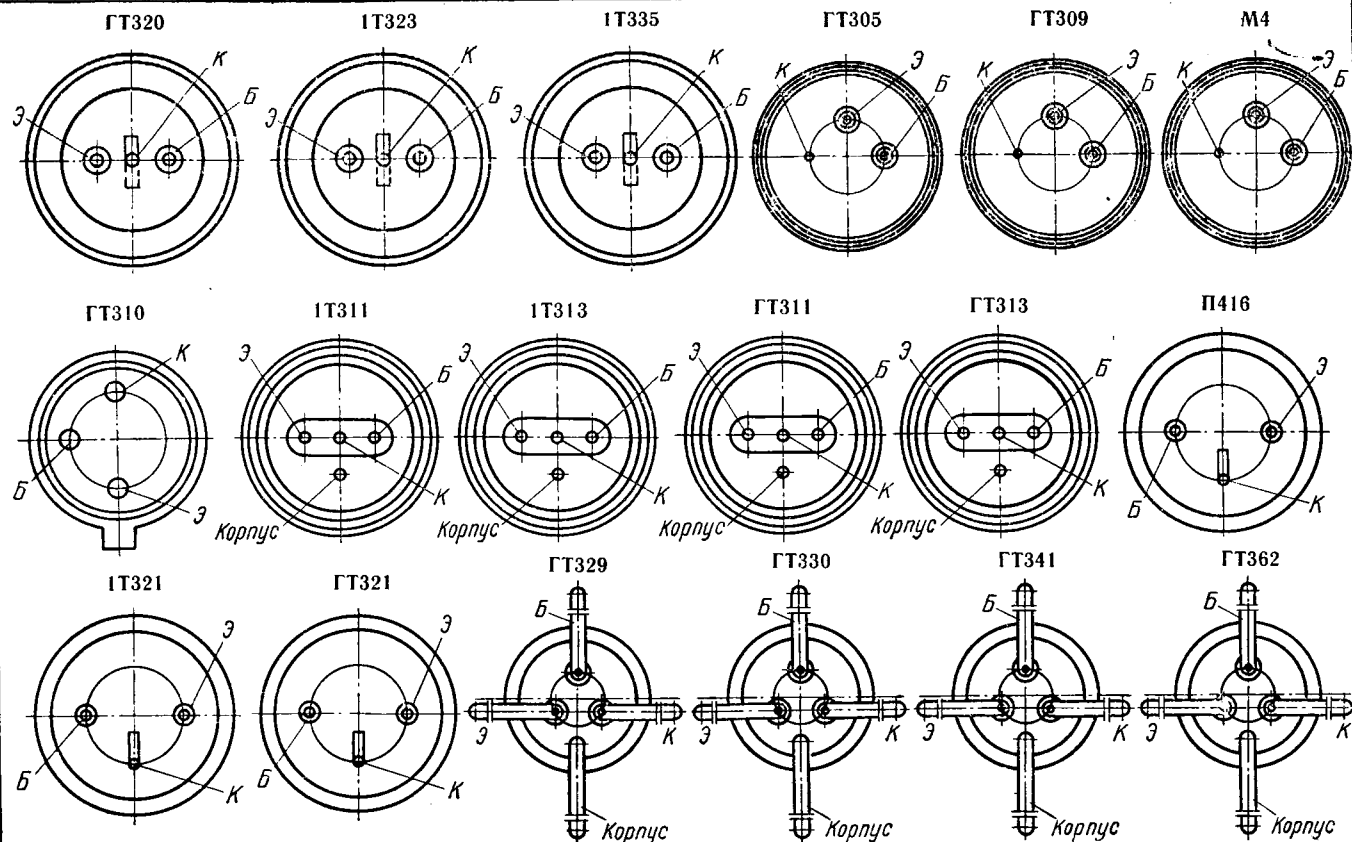


Рис. 14.7 (продолжение). Цолевка германиевых транзисторов малой мощности высокой частоты

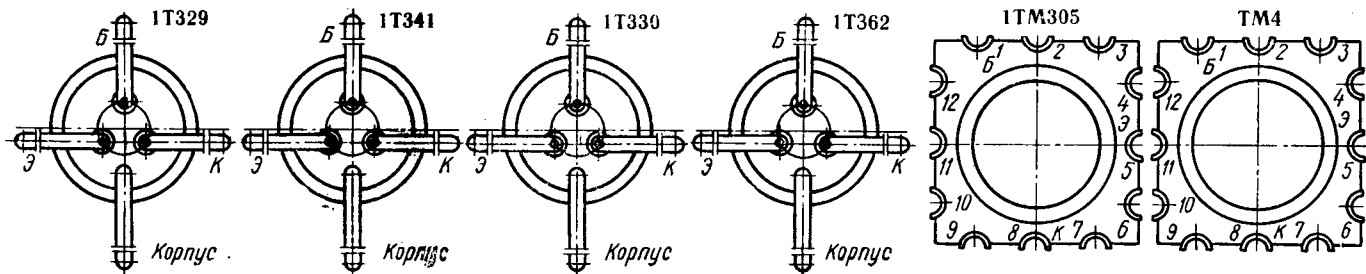


Рис. 14.7 (продолжение). Цолевка германиевых транзисторов малой мощности высокой частоты

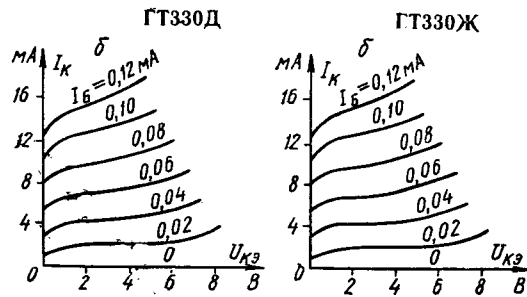
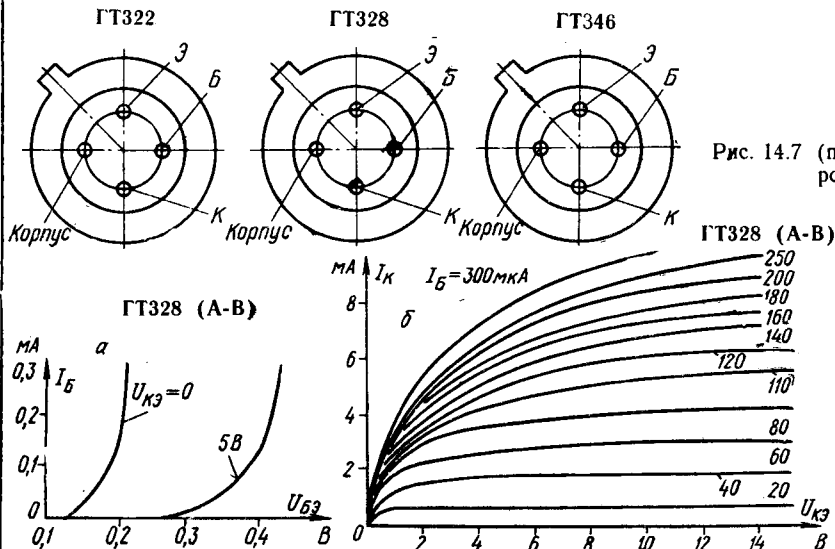


Рис. 14.8. Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики германиевых транзисторов малой мощности высокой частоты

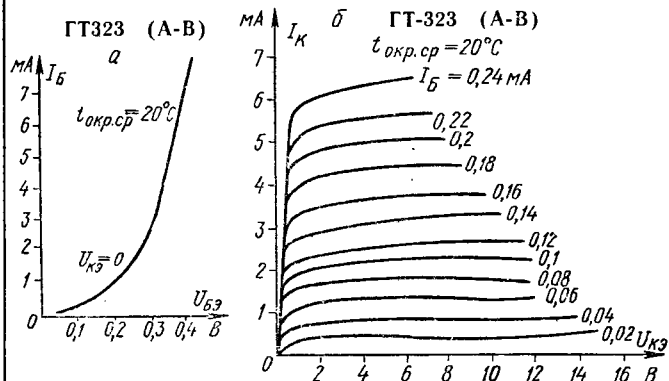


Рис. 14.8. (продолжение). Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики германиевых транзисторов малой мощности высокой частоты

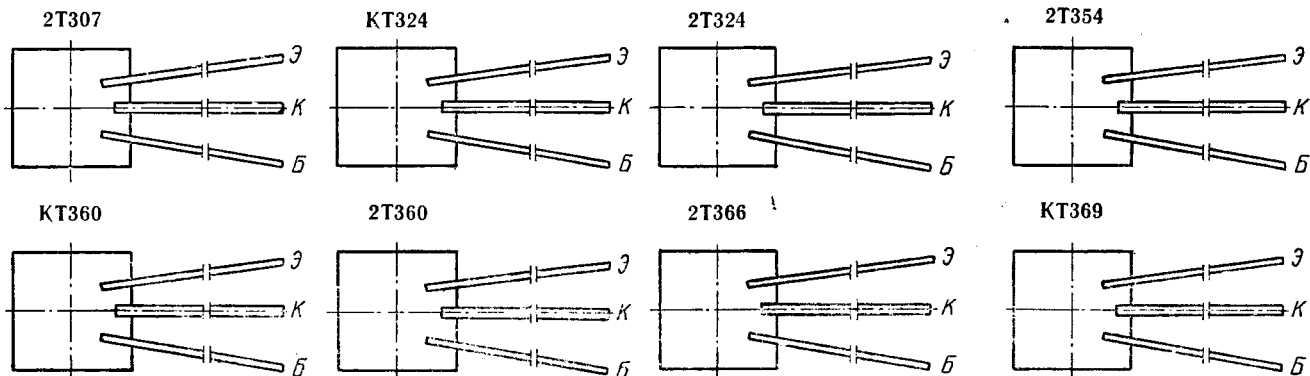
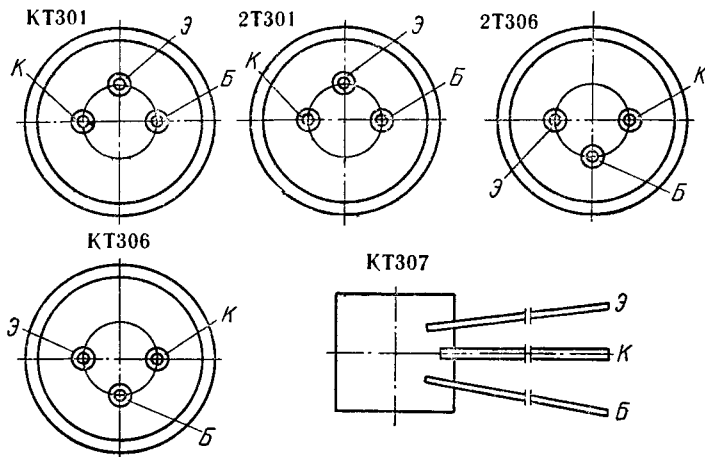
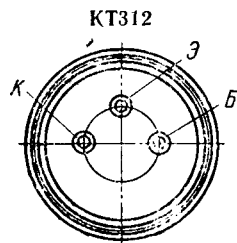
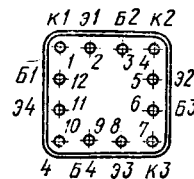
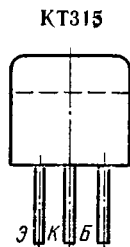
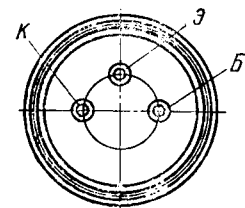


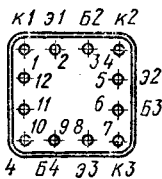
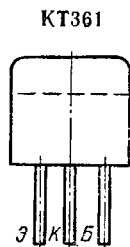
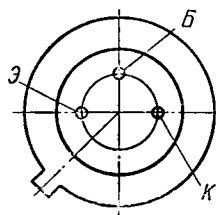
Рис. 14.9. Цоколевка кремниевых транзисторов малой мощности высокой частоты



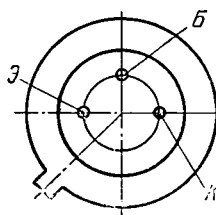
2Т312



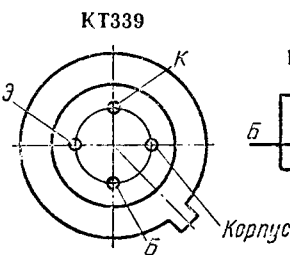
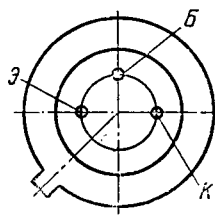
2Т316



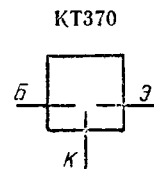
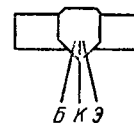
KT325



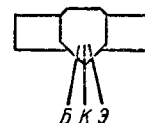
2Т325



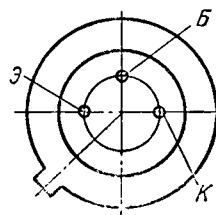
2Т364



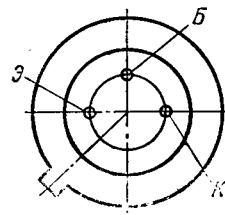
KT364



KT326



2Т326



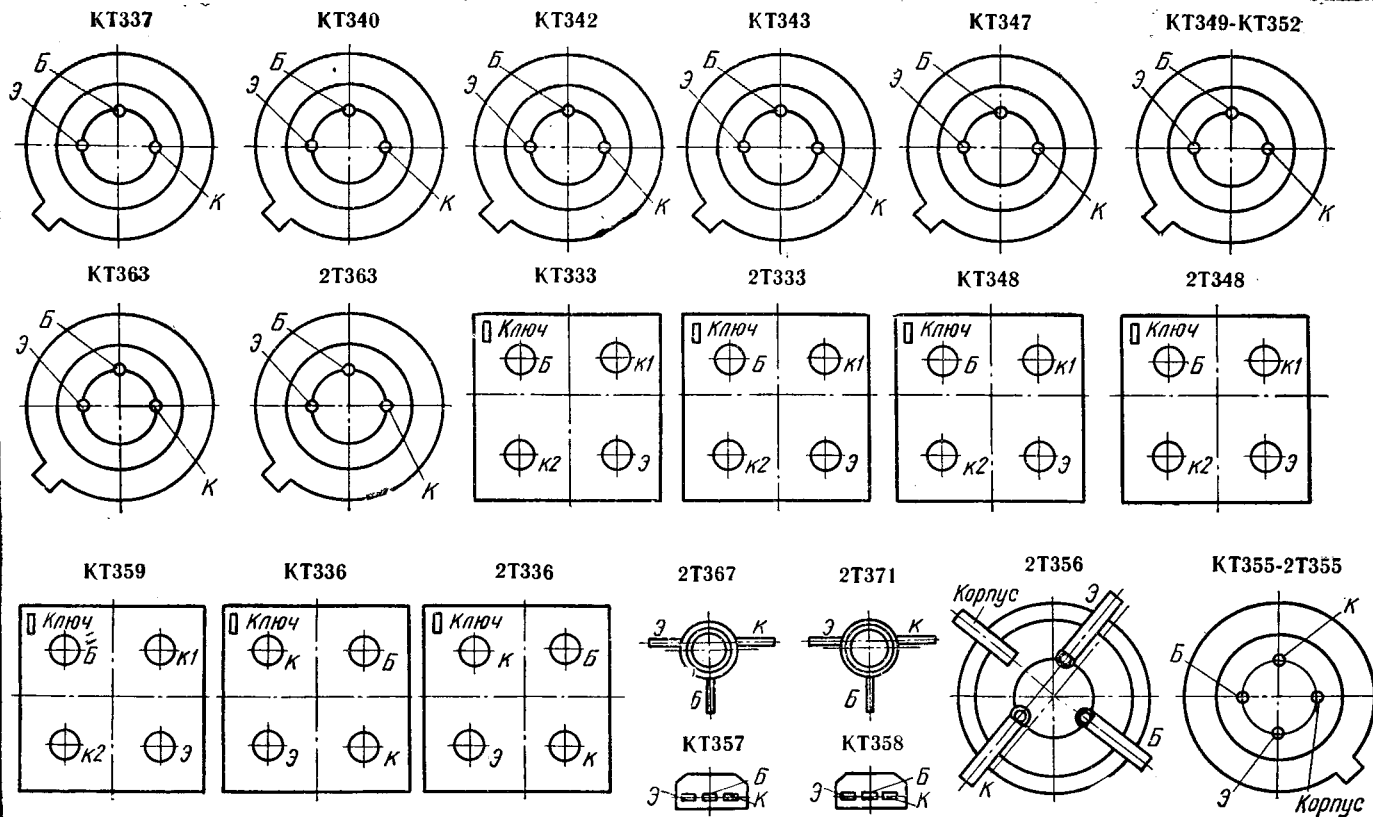
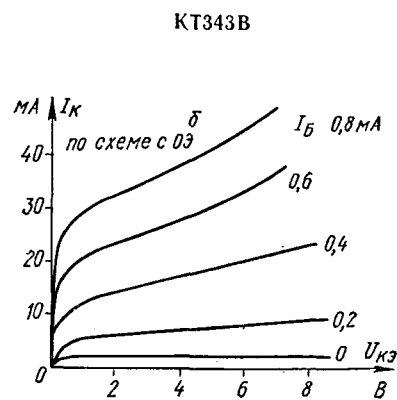
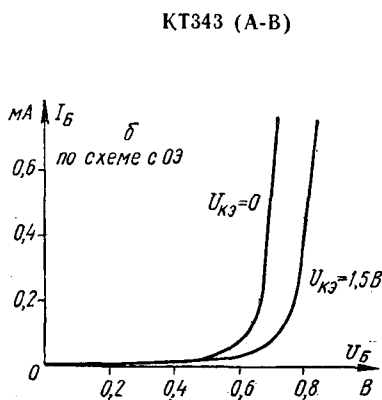
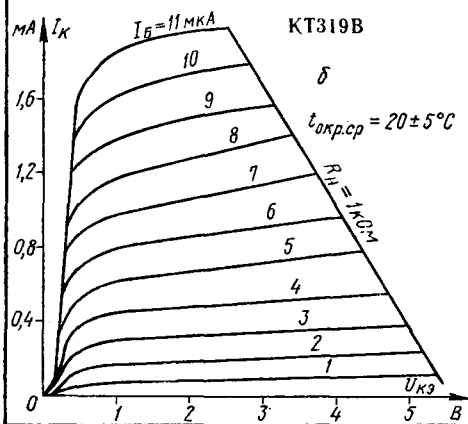
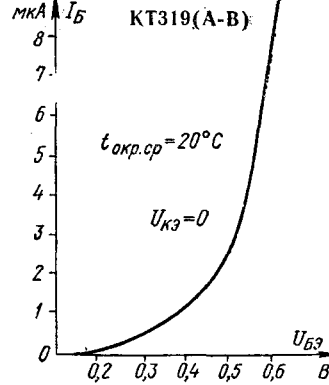
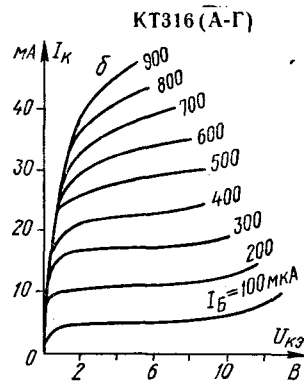
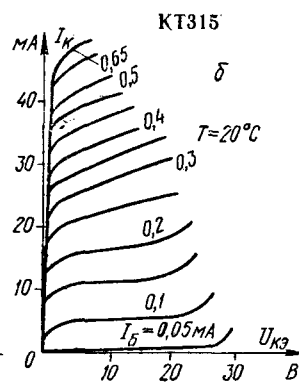
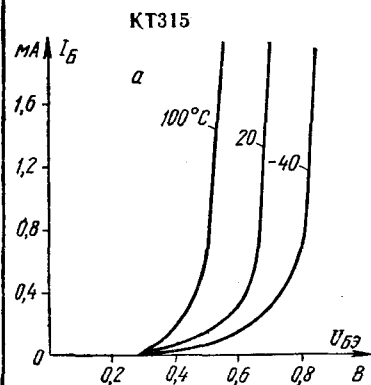


Рис. 14.9. (продолжение). Цоколевка кремниевых транзисторов малой мощности высокой частоты



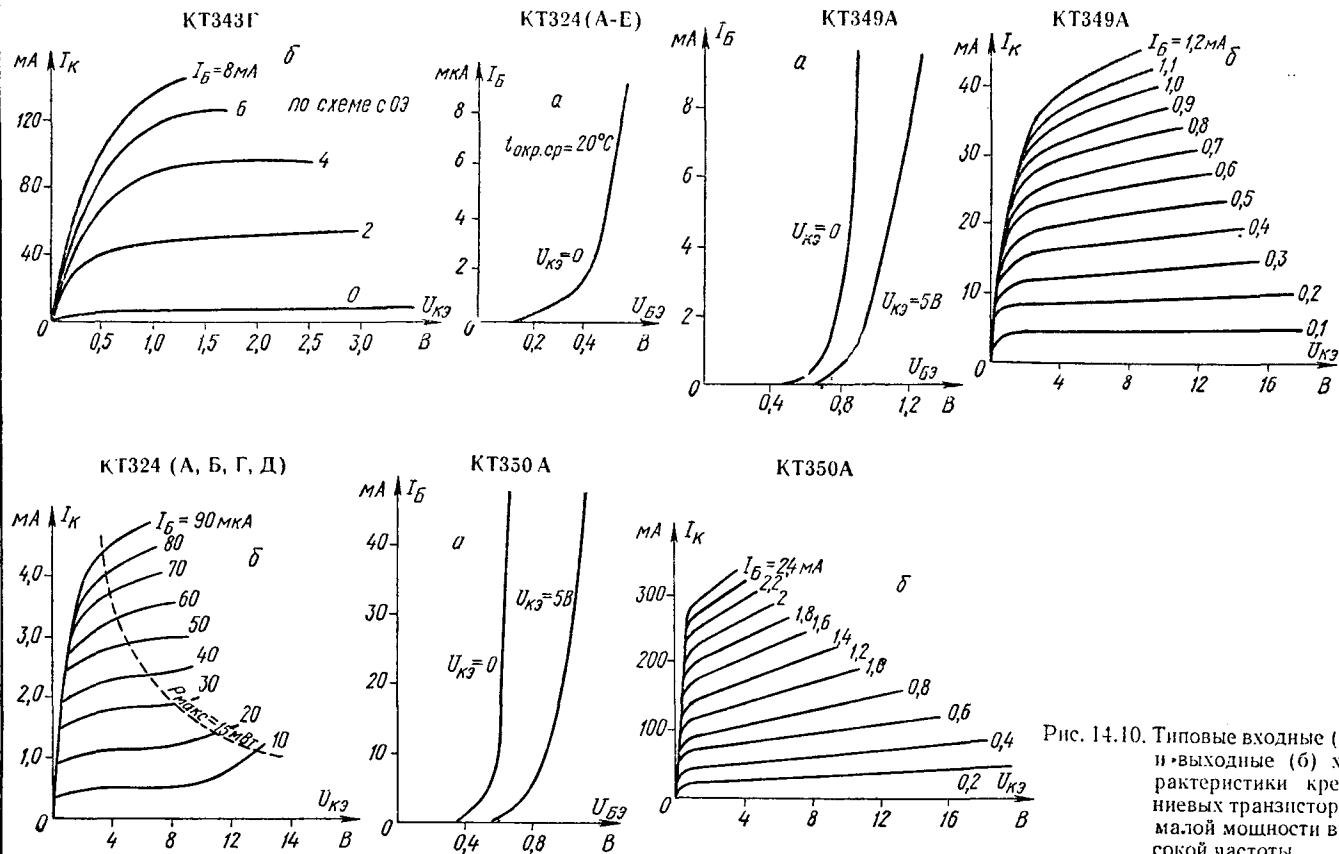
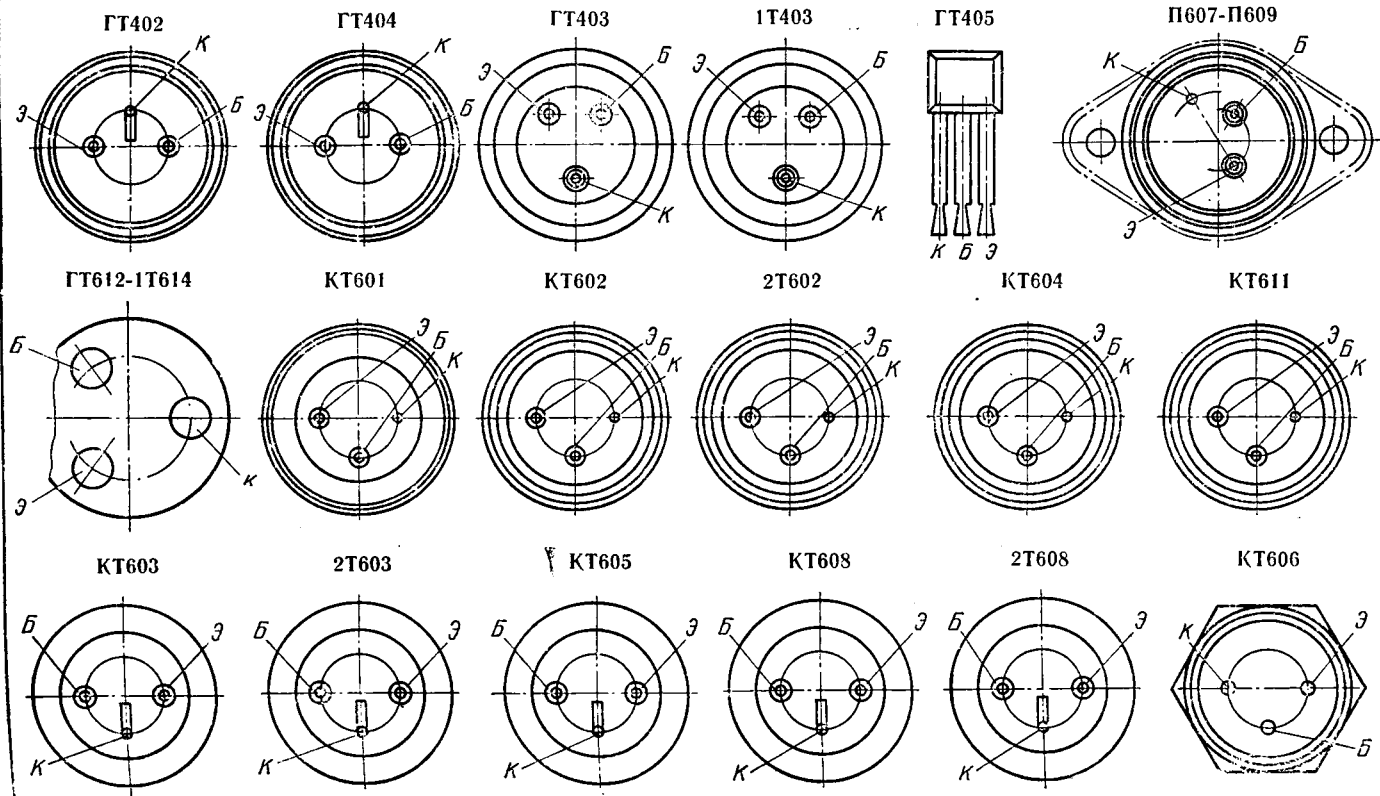


Рис. 14.10. Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики кремниевых транзисторов малой мощности высокой частоты



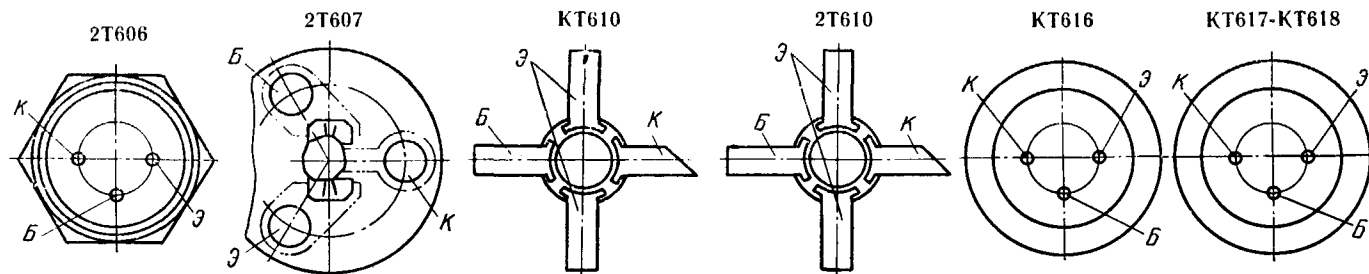


Рис. 14.11. Цоколевка транзисторов средней мощности

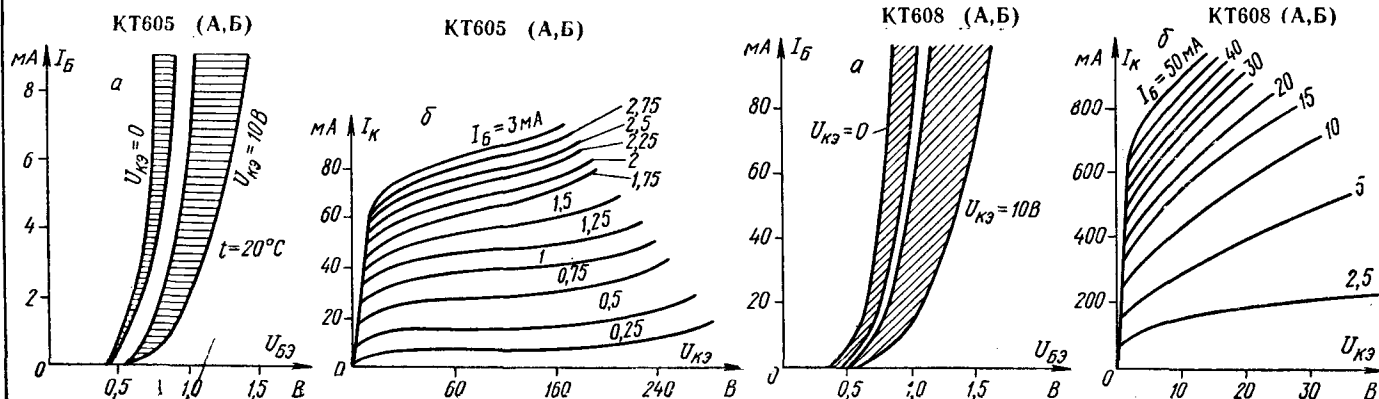


Рис. 14.12. Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов средней мощности

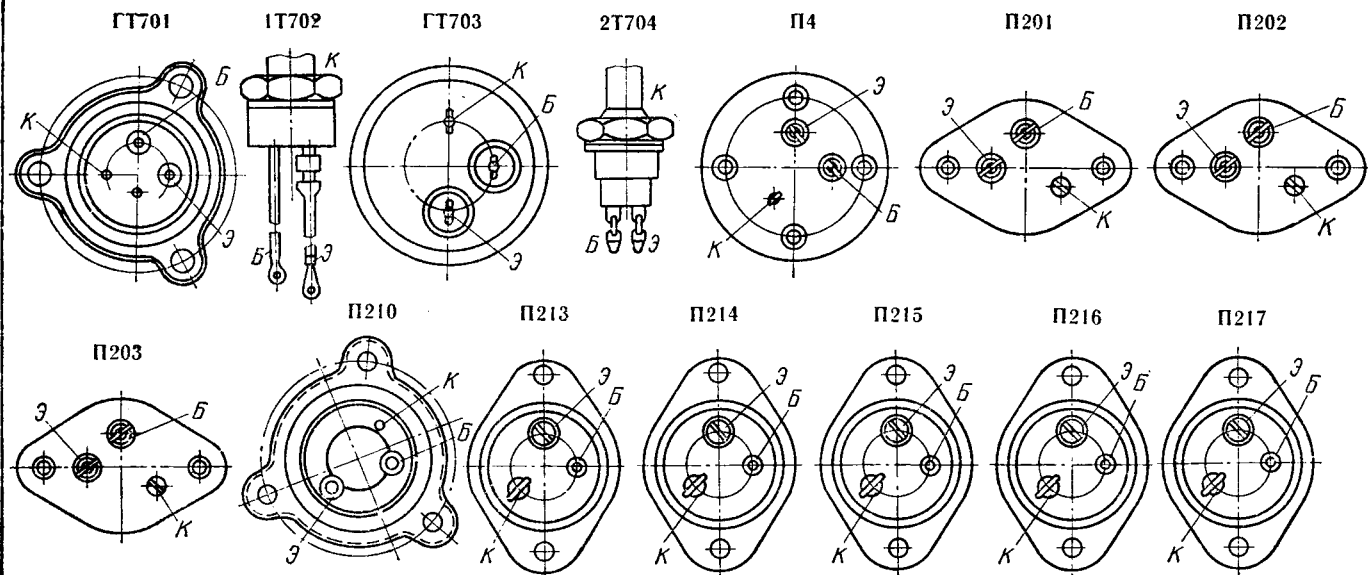
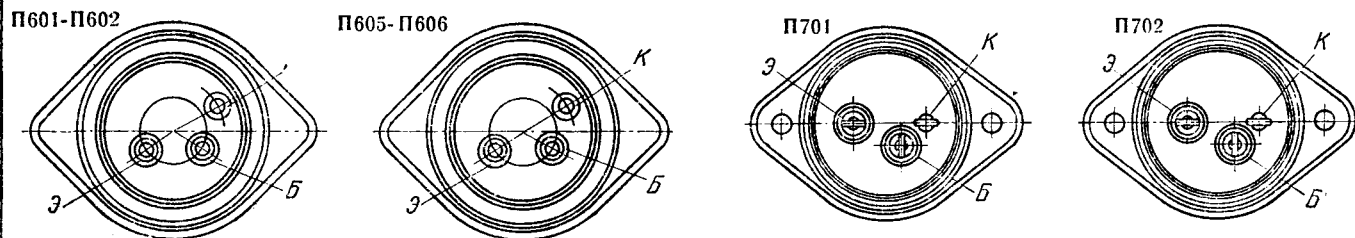


Рис. 14.13. Цоколевка транзисторов большой мощности низкой частоты



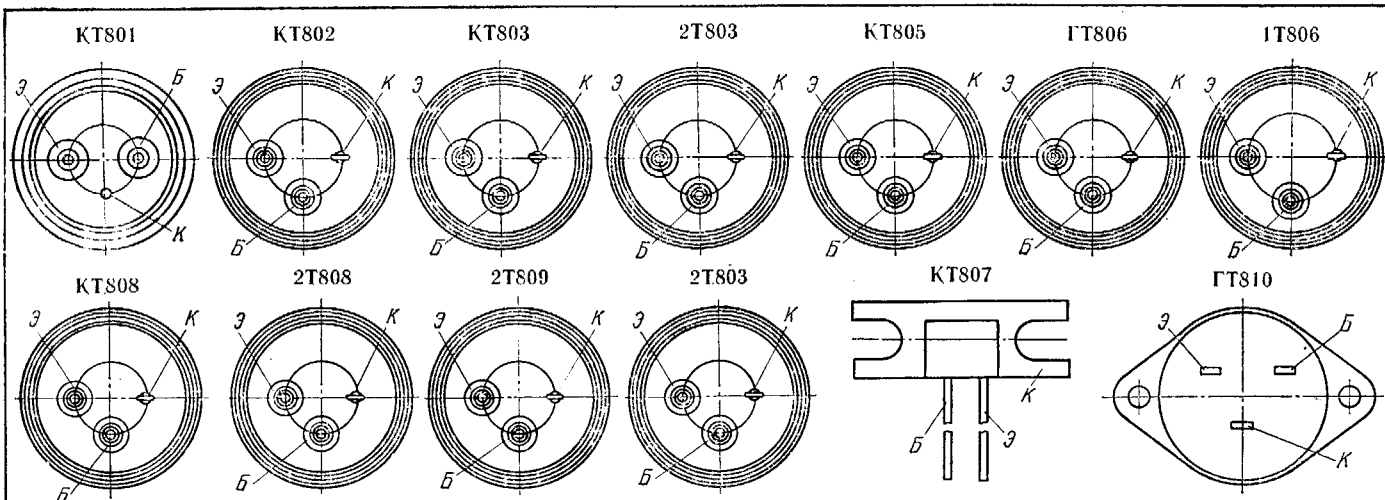


Рис. 14.14 Цоколевка транзисторов большой мощности средней частоты

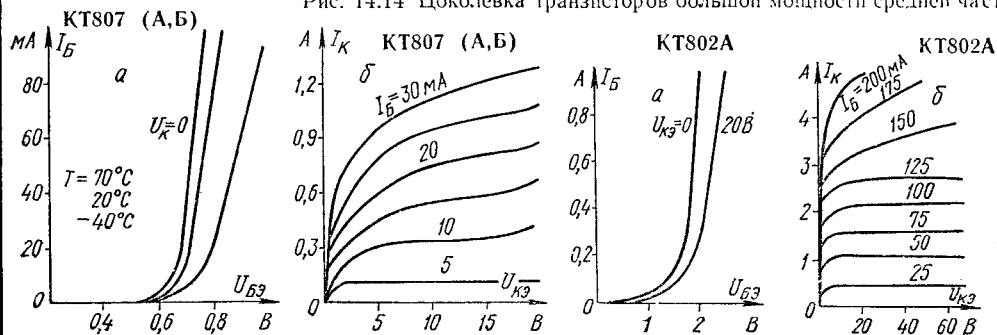


Рис. 14.15. Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов большой мощности средней частоты

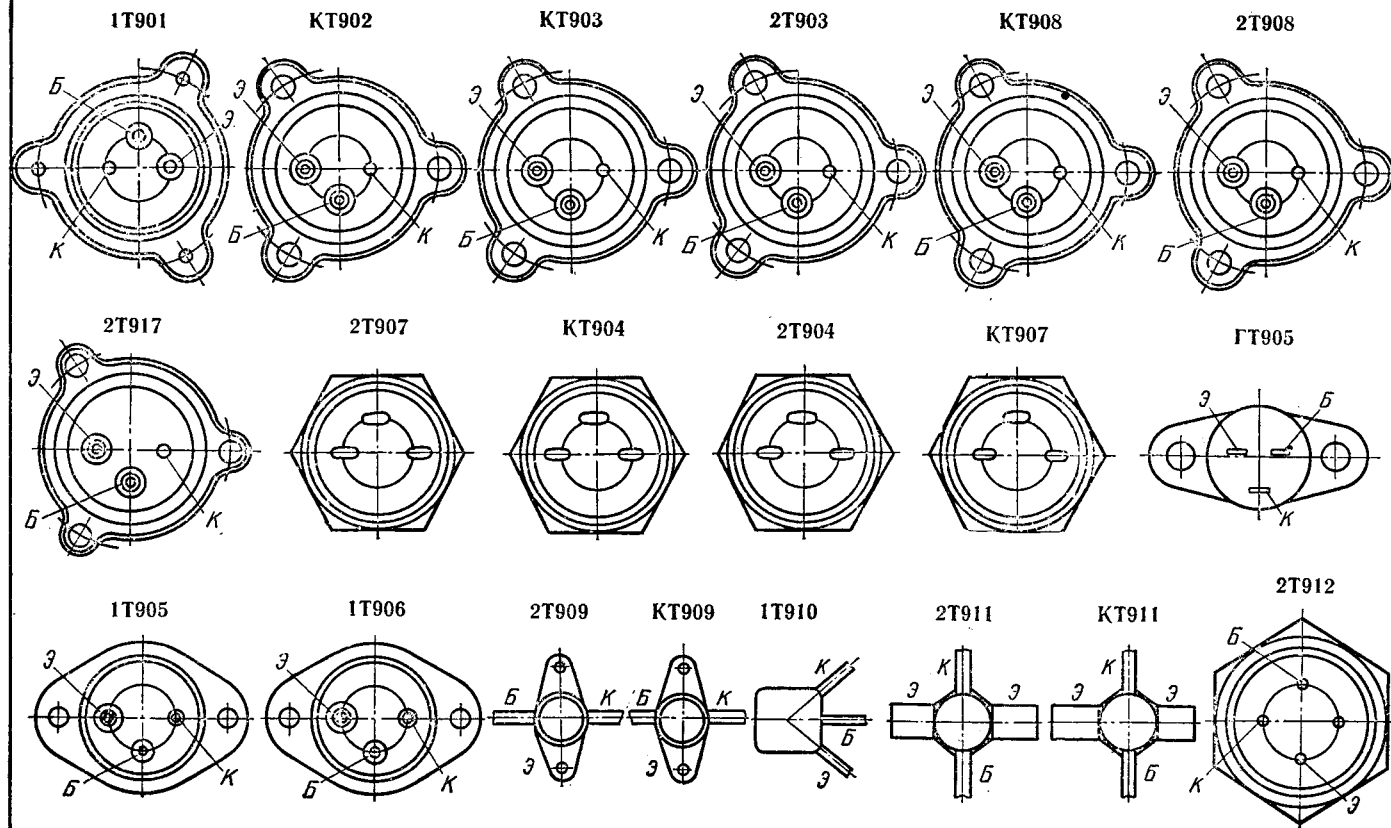


Рис. 14.16. Цоколевка транзисторов большой мощности высокой частоты

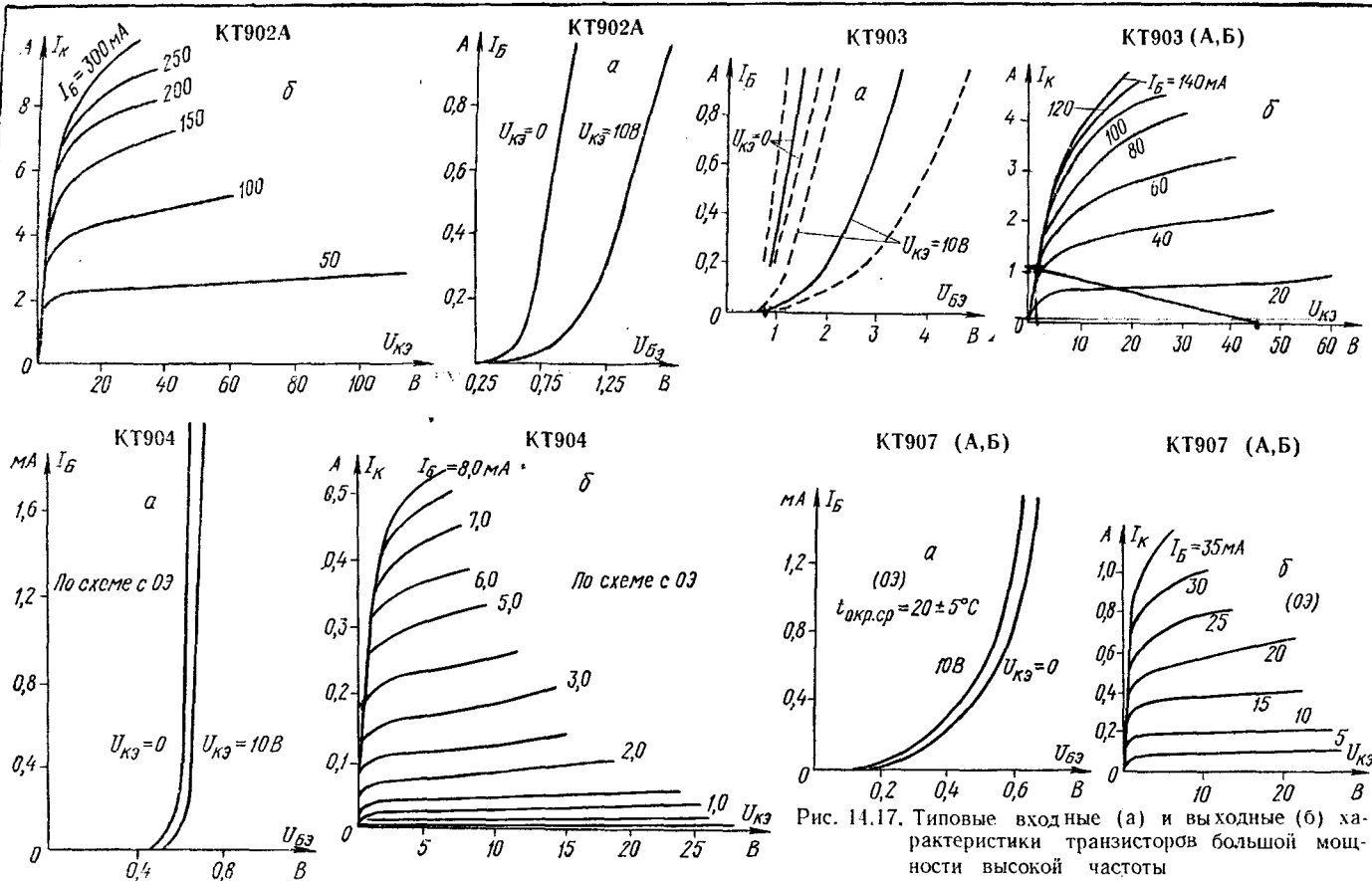


Рис. 14.17. Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов большой мощности высокой частоты

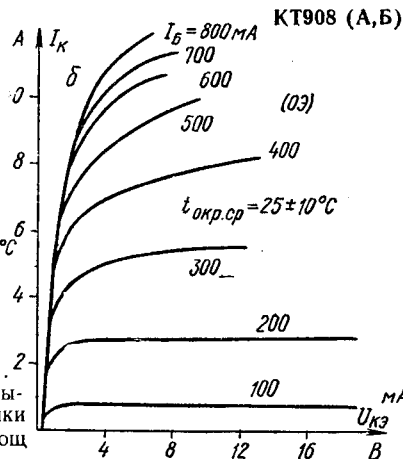
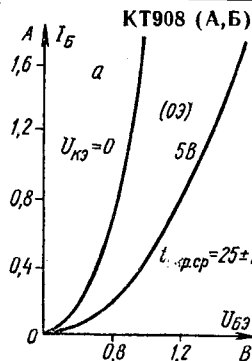


Рис. 14.17 (продолжение). Типовые входные (а) и выходные (б) характеристики транзисторов большой мощности высокой частоты

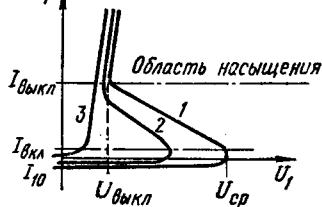
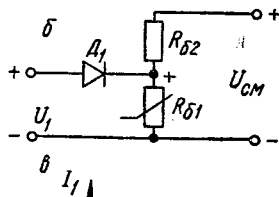
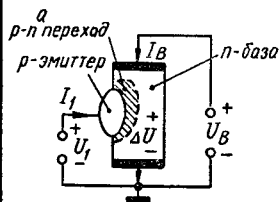


Рис. 14.20. Однопереходные транзисторы: а — структура, б — схема замещения, в — характеристики

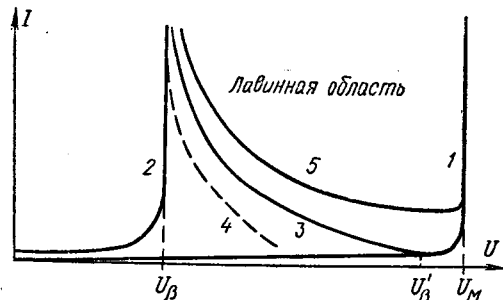


Рис. 14.18. Вольт-амперная характеристика лавинного транзистора

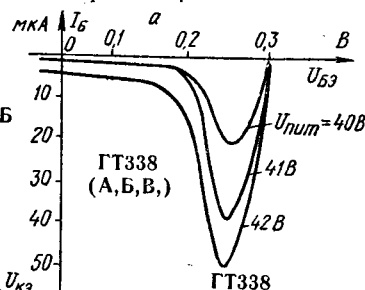
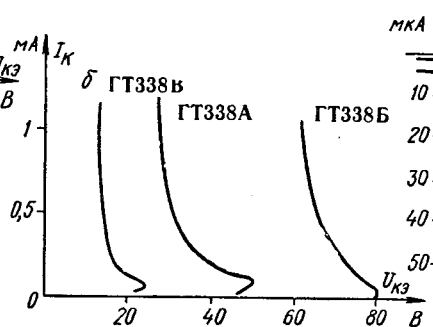
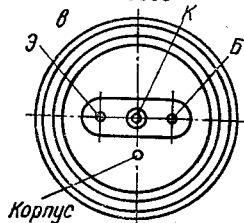


Рис. 14.19. Лавинные транзисторы: а — типовые входные характеристики, б — типовые выходные характеристики, в — цоколевка транзисторов типа ГТЗ38



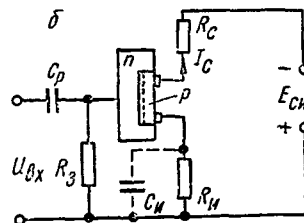
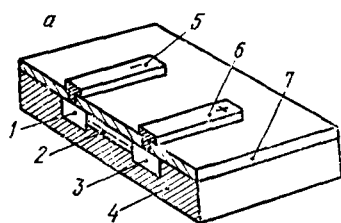
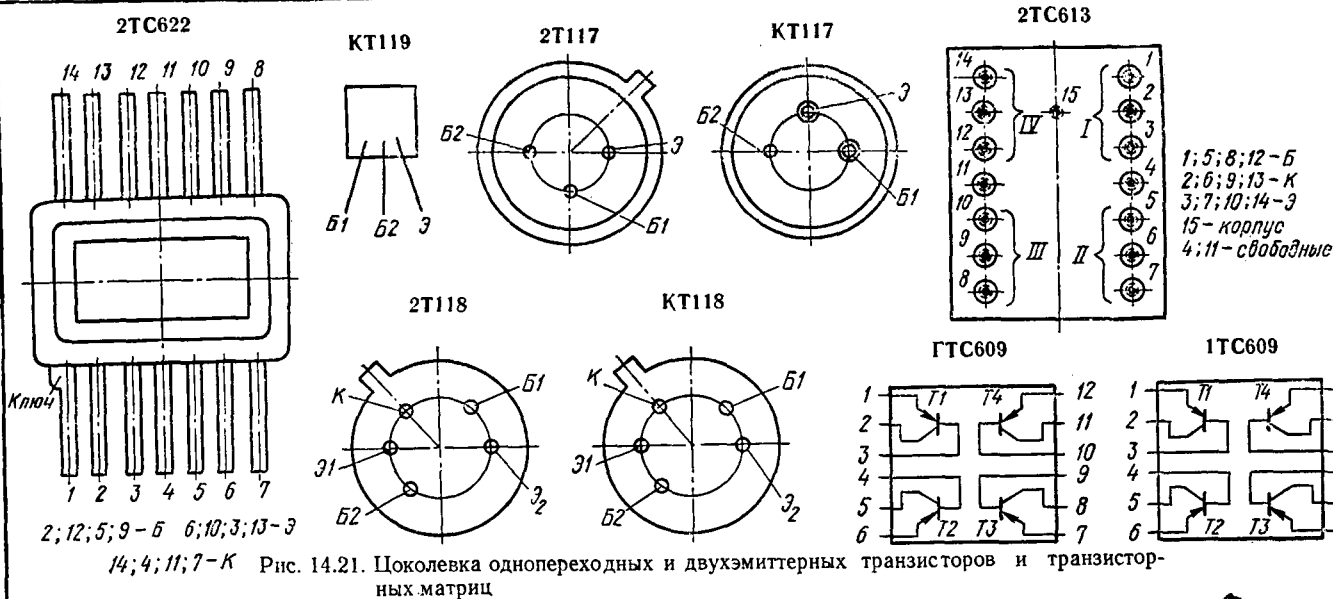


Рис. 15.1. Полевой транзистор с $p-n$ -переходом:
а — устройство; б — схема включения; 1 — сток; 2 — канал; 3 — исток; 4 — затвор; 5 — вывод стока; 6 — вывод истока; 7 — пленка окиси кремния



Рис. 15.2. Устройство полевого транзистора с изолированным затвором:
1 — электрод истока; 2 — окисный слой; 3 — электрод затвора; 4 — электрод стока; 5 — подложка кремния p -типа

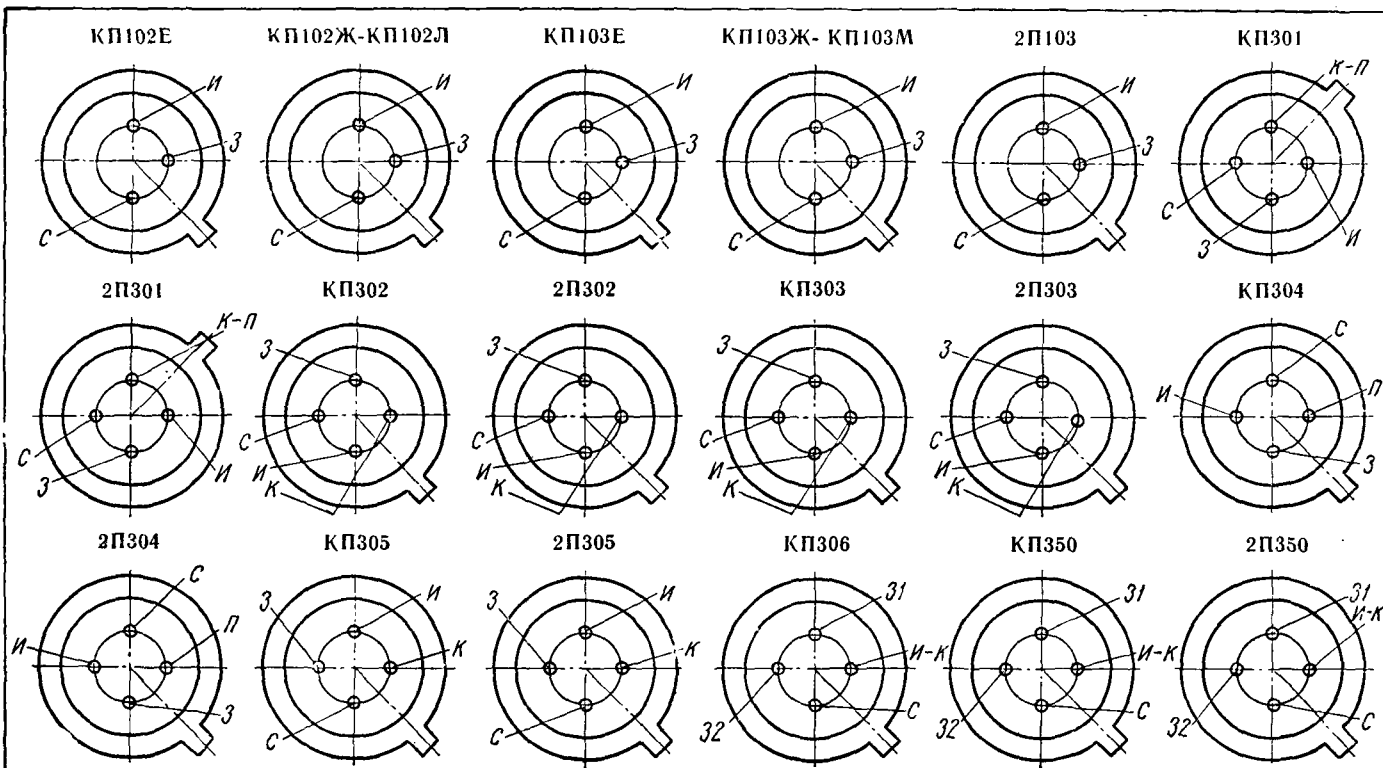


Рис. 15.3. Цоколевка полевых транзисторов

Табл. 14.20. Параметры транзисторных элементов типа Т-401 ... Т-405

Термины параметров	Т-401	Т-402	Т-403	Т-404	Т-405
Назначение	Выходные усилители согласования для повышения нагрузочной способности логических элементов	Выходные усилители мощности для включения обмоток ЭМУ, МУ, промежуточных реле, сигнальных ламп. Усилители согласования для расширения нагрузочной способности логических элементов	Выходные усилители мощности для включения электромагнитных исполнительных механизмов		
Входное сопротивление, кОм	$0,68 \pm 10\%$		$1,3 \pm 10\%$	$1,3 \pm 10\%$	$1,3 \pm 10\%$
Рабочая частота, кГц	<5		$<1\text{Гц}$ (при индуктивной нагрузке)		$<2,5\text{ кГц}$ (при активной нагрузке)
Номинальный ток нагрузки, мА:		<5			
при диодном входе	70	125	150	150	150
при резисторном входе	40	70	30	30	30
Напряжение питания, В	-12	-24(-12) в режиме согласования	-24	-24	-24
Напряжение смещения, В	6	6	6	6	6
Уровень пульсации напряжений питания и смещения, %	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Напряжение входного сигнала «1», В (на резисторном входе)	3,6...12	3,6...12	3,6...12	3,6...12	3,6...12
Напряжение выходного сигнала «0», В	0,5	0,5	0,75	2	1
Вид транзисторного элемента	Должен допускать работу на одну схему ИЛИ-НЕ (Т-101) и одну схему «И» (Т-107) или на пять схем «И»	Две независимые схемы		—	
Входной ток для диодного входа, мА	8—16	—	—	—	—
Минимальный ток нагрузки при входном сигнале «0», мА	—	—	7	12	30
Напряжение входного сигнала, В:					
на диодном входе	0,35	0,35	1	1	2,5
на резисторном входе	0,75	0,75	—	—	—
Номинальная мощность нагрузки, Вт	—	—	10	30	100
Номинальный ток нагрузки, А	—	—	0,42	1,2	4,2
Номинальное напряжение нагрузки, В	—	—	24	24	24

полевого транзистора, через который из канала вытекают носители заряда. *Затвором* называют электрод полевого транзистора, к которому прикладывается управляющее напряжение.

Между затвором и каналом образуется $p-n$ -переход, работающий при обратном смещении. Напряжение, приложенное между затвором и истоком, модулирует поперечное сечение канала, управляя его сопротивлением. Напряжение на затворе транзистора должно быть положительным или равным нулю.

При подключении к истоку положительного, а к стоку отрицательного полюсов источника питания в канале возникает электрический ток, создаваемый движением дырок от истока к стоку. Рабочий ток полевого транзистора образуется основными носителями заряда (дырками в области с дырочной проводимостью). Это обстоятельство является существенным отличием полевого транзистора от биполярного, в котором в образовании выходного (коллекторного) тока участвуют как электроны, так и дырки.

По своему назначению затвор аналогичен управляющей сетке электронной лампы. Движение носителей заряда вдоль электронно-дырочного перехода (а не через переходы, как в биполярном транзисторе) является второй характерной особенностью полевого транзистора. Протекающий по каналу ток называют током стока I_C . Величина его зависит от напряжения питания, электрического сопротивления канала и сопротивления внешнего участка выходной цепи.

Схема усилительного каскада на полевом транзисторе показана на рис. 15.1,б. На резисторе R_{Ki} образуется падение напряжения смещения, подаваемое на затвор. При увеличении положительного потенциала на затворе, т. е. при усилении электрического поля в $p-n$ -переходе, последний расширяется (штриховая линия), а канал соответственно сужается. В результате сопротивление канала увеличивается и ток стока уменьшается. И наоборот, при уменьшении положительного потенциала на затворе переход сужается, а канал расширяется, его сопротивление уменьшается, а ток стока увеличивается.

Если на затвор подать переменное напряжение, в цепи стока возникнут пульсации тока, а на нагрузке R_C — усиленное напряжение сигнала. В рассматриваемом каскаде полевой транзистор включен по схеме с общим истоком. Если же из схемы исключить резистор R_C и конденсатор $C_{и}$, то получим каскад с транзистором, включенным по схеме с общим стоком. В этом случае напряжение выходного сигнала снимается с резистора $R_{и}$. При положительном потенциале затвора обратный ток через $p-n$ -переход очень мал и действие полевого транзистора подобно работе лампового триода.

Кроме полевого транзистора с каналом p -типа, выпускаются полевые транзисторы с каналом n -типа. В этом случае включение транзистора аналогично включению электронной лампы.

Транзистор с изолированным затвором. В этом типе транзистора (рис. 15.2) затвор отделен от канала слоем окиси кремния

(МОП-структура: металл — окисел — полупроводник). МОП-транзистор с каналом n -типа представляет собой тонкую слаболегированную пластину кремния p -типа, в которой методом диффузии созданы два сильно легированных слоя n -типа. Над слоем, в котором создается токопроводящий канал, выращивается тонкий слой двуокиси кремния. Затем изготавливаются три электрода: исток, затвор и сток.

Благодаря наличию под управляющим электродом слоя диэлектрика, МОП-транзисторы в отличие от биполярных транзисторов имеют значительно меньшие токи утечки, чем обусловлено их чрезвычайно высокое входное сопротивление (до 10^{12} Ом).

15.2. Определение терминов основных электрических параметров

Параметрами полевых транзисторов, установленными ГОСТ 19095—73, являются.

Начальный ток стока $I_{C \text{ нач}}$ — ток стока при напряжении между затвором и истоком, равном нулю, и при напряжении на стоке, равном или превышающем напряжение насыщения.

Остаточный ток стока $I_{C \text{ ост}}$ — ток стока при напряжении между затвором и истоком, превышающем напряжение отсечки.

Ток утечки затвора $I_{з \text{ ут}}$ — ток затвора при заданном напряжении между затвором и остальными выводами, замкнутыми между собой.

Напряжение отсечки $U_{зи \text{ отс}}$ — напряжение между затвором и истоком транзистора с p — n -переходом или с изолированным затвором, работающего в режиме обеднения, при котором ток стока достигает заданного низкого значения.

Крутизна характеристики S — отношение изменения тока стока к изменению напряжения на затворе при коротком замыкании по переменному току на выходе транзистора в схеме с общим истоком.

Емкость затвор-сток при разомкнутом выводе (емкость затвор-сток) $C_{зсо}$ — емкость между затвором и стоком при разомкнутых по переменному току остальных выводах.

Емкость затвор-исток при разомкнутом выводе $C_{зио}$ — емкость между затвором и истоком при разомкнутых по переменному току остальных выводах.

Входная емкость $C_{11и}$ — емкость между затвором и истоком при коротком замыкании по переменному току на выходе с общим истоком.

Выходная емкость $C_{22и}$ — емкость между стоком и истоком при коротком замыкании по переменному току на входе в схеме с общим истоком.

Пропускная емкость $C_{12и}$ — емкость между затвором и стоком при коротком замыкании по переменному току на входе в схеме с общим истоком.

Электродвижущая сила шума $E_{ш}$ — спектральная плотность эквивалентного шумового напряжения, приведенного ко входу, при коротком замыкании на входе в схеме с общим истоком.

Шумовое сопротивление $R_{ш}$ — эквивалентное шумовое сопротивление при коротком замыкании на входе в схеме с общим истоком.

Коэффициент шума $K_{ш}$ — отношение полной мощности шумов на выходе полевого транзистора к той ее части, которая вызвана тепловыми шумами сопротивления источника сигнала.

К максимально допустимым параметрам относятся.

Максимально допустимое напряжение сток-исток $U_{СИ \text{ макс.}}$

Максимально допустимое напряжение затвор-исток $U_{ЗИ \text{ макс.}}$

Максимально допустимое напряжение затвор-сток $U_{ЗС \text{ макс.}}$

Максимально допустимое напряжение сток-подложка $U_{СП \text{ макс.}}$

Максимально допустимое напряжение исток-подложка $U_{ИП \text{ макс.}}$

Максимально допустимое напряжение затвор-подложка $U_{ЗП \text{ макс.}}$

Максимально допустимое напряжение между затворами

$U_{(31-32) \text{ макс.}}$

Максимально допустимый постоянный ток стока $I_{С \text{ макс.}}$

Максимально допустимый прямой ток затвора $I_{З \text{ (пр) макс.}}$

Максимально допустимый импульсный ток стока $I_{С \text{ (и) макс.}}$ — импульсный ток стока при заданных длительности и скважности импульсов.

Максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность $P_{\text{макс.}}$

Максимально допустимая импульсная рассеиваемая мощность $P_{\text{и, макс}}$ — мощность, рассеиваемая полевым транзистором в импульсе при заданных скважности и длительности импульсов.

Характеристиками параметров полевых транзисторов являются стокзатворная и стоковая характеристики. Стокзатворная характеристика выражает зависимость тока стока от напряжения на затворе относительно истока при постоянном стоковом напряжении. Стоковые выходные характеристики показывают зависимость тока стока от напряжения между стоком и истоком при постоянном напряжении на затворе относительно истока.

15.3. Условные обозначения

В соответствии с ГОСТ 10862—72 обозначение полевых транзисторов состоит из букв и цифр. *Первый элемент* определяет исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор. Установлены следующие обозначения исходного материала для полевых транзисторов, используемых в устройствах широкого применения: германий или соединения германия — Г; кремний или соединения кремния — К; соединения галлия — А. Для транзисторов, используемых в устройствах специального назначения, установлены следующие обозначения исходного материала: германий или соединения германия — 1; кремний или соединения кремния — 2; соединения галлия — 3.

Вторым элементом обозначения является буква П. *Третий элемент* обозначения определяет назначение прибора, он указан в

Табл. 15.1. Обозначения классов полевых транзисторов

Классы транзисторов	Обозначение
Транзисторы полевые малой мощности (мощность, рассеиваемая транзистором, не более 0,3 Вт):	
максимальная рабочая частота не более 3 МГц	1
максимальная рабочая частота более 3 МГц, но не более 30 МГц	2
максимальная рабочая частота более 30 МГц	3
Транзисторы полевые средней мощности (мощность, рассеиваемая транзистором, более 0,3 Вт, но не более 1,5 Вт):	
максимальная рабочая частота не более 3 МГц	4
максимальная рабочая частота более 3 МГц, но не более 30 МГц	5
максимальная рабочая частота более 30 МГц	6
Транзисторы полевые большой мощности (мощность, рассеиваемая транзистором, более 1,5 Вт):	
максимальная рабочая частота не более 3 МГц	7
максимальная рабочая частота более 3 МГц, но не более 30 МГц	8
максимальная рабочая частота более 30 МГц	9

Примечание. Допускаемая электрическая мощность, рассеиваемая транзистором, указана для применения его без дополнительного теплоотвода.

табл. 15.1. *Четвертый и пятый элементы* определяют порядковый номер разработки технологического типа прибора и обозначаются от 01 до 99.

Обозначение третьего, четвертого и пятого элементов для транзисторов:

малой мощности низкой частоты...101...199
 малой мощности средней частоты...201...299
 малой мощности высокой частоты...301...399
 средней мощности низкой частоты...401...499
 средней мощности средней частоты...501...599
 средней мощности высокой частоты...601...699
 большой мощности низкой частоты...701...799
 большой мощности средней частоты...801...899
 большой мощности высокой частоты...901...999

Шестой элемент обозначения определяет деление технологического типа на параметрические группы и обозначается буквами русского алфавита от А до Я.

Обозначение наборов дискретных полупроводниковых приборов производится в соответствии с их разновидностью (транзистор малой мощности и др.) с добавлением буквы «С» перед последним элементом обозначения.

Например, транзистор типа 1П401А расшифровывается так: транзистор полевой, предназначенный для устройств специального назначения, германиевый, средней мощности, номер разработки 01, группа А.

Условные графические обозначения полевых транзисторов в схемах в соответствии с ГОСТ 2.730—73 приведены в табл. 15.2.

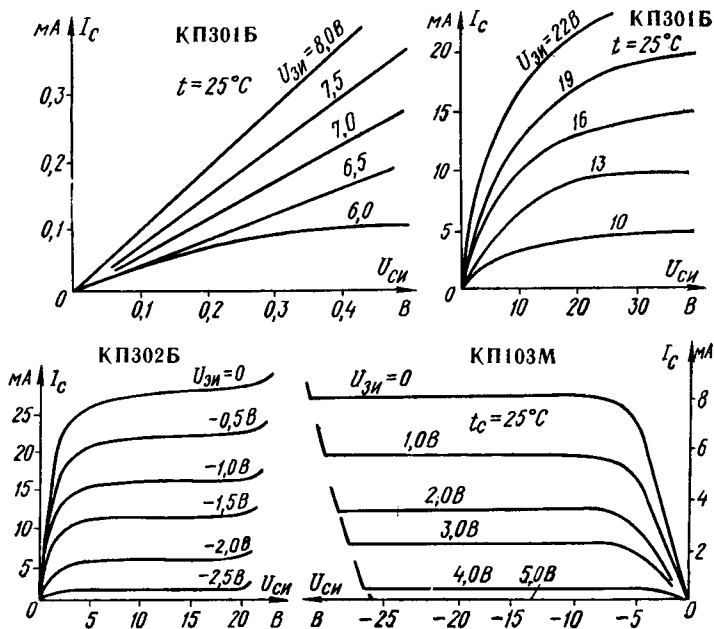
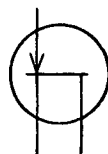


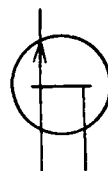
Рис. 15.4. Характеристики полевых транзисторов

Табл. 15.2. Условные графические обозначения полевых транзисторов

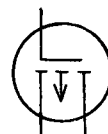
Полевой транзистор с каналом n -типа



Полевой транзистор с каналом p -типа



Полевой транзистор с изолированным затвором:
обогащенного типа с p -каналом



обогащенного типа с n -каналом	
обедненного типа с p -каналом	
обедненного типа с n -каналом	
Полевой транзистор с изолированным затвором обогащенного типа с p -каналом с выводом от подложки	
Полевой транзистор с изолированным затвором обогащенного типа с n -каналом и с внутренним соединением подложки и истока	
Полевой транзистор с двумя изолированными затворами обедненного типа с n -каналом и с выводом от подложки	

15.4. Электрические параметры

Электрические параметры полевых транзисторов приведены в табл. 15.3...15.4, цоколевка показана на рис. 15.3, характеристики — на рис. 15.4.

Табл. 15.3. Параметры полевых транзисторов

Тип транзистора	P_{max} , мВт	Диапазон рабочих температур, °С	$U_{\text{ЭС}}$ макс, В	$U_{\text{СИ}}$ макс, В	$U_{\text{ЗИ}}$ макс, В	$U_{\text{СП}}$ макс, В	$I_{\text{С}}$ макс, мА	$I_{\text{З}}$ (пр) макс, мА	$I_{\text{С}}$ нач, мА	$I_{\text{З}}$ ут, мА	$U_{\text{ЗИ}}$ отс, В	S , мА/В	C_{111} (C_{221}), пФ	C_{121} , пФ	$K_{\text{ш}}$, дБ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Кремниевые р—п с каналом р

КП101Г	—	—40...+85	10	10	10	—	—	—	—	10	5	0,15	—	—	5
КП101Д	—	—40...+85	10	10	10	—	—	—	—	50	10	0,3	—	—	10
КП101Е	—	—40...+85	10	10	10	—	—	—	—	50	10	0,3	—	—	—
2П101А	—	—60...+125	10	10	10	—	—	—	—	10	5	0,3	12	—	5
2П101Б	—	—60...+125	10	10	10	—	—	—	—	10	5	0,3	12	—	5
2П101В	—	—60...+125	10	10	10	—	—	—	—	50	8	0,5	12	—	10
КП102Е	—	—	30	20	—	—	0,18...0,55	—	—	15	2,8	0,25...0,7	5	2	—
КП102Ж	—	—	30	20	—	—	0,4...1,0	—	—	15	4,0	0,3...0,9	5	2	—
КП102И	—	—	30	20	—	—	0,7...1,8	—	—	15	5,5	0,35...1,0	5	2	—
КП102К	—	—	30	20	—	—	1,3...3,0	—	—	15	7,5	0,45...1,2	5	2	—
КП102Л	—	—	30	20	—	—	2,4...6,0	—	—	15	10	0,65...1,3	5	2	—
КП103Е	7	—55...+85	15	10	—	—	—	—	0,3...2,5	20	0,4...1,5	0,4...2,4	20	8	3
КП103Ж	12	—55...+85	15	10	—	—	—	—	0,35...3,8	20	0,5...2,2	0,5...2,8	20	8	3
КП103И	21	—55...+85	15	10	—	—	—	—	0,4...4,0	20	0,8...3	0,6...2,9	20	8	3
КП103К	38	—55...+85	15	10	—	—	—	—	1...5,5	20	1,4...4	1...3	20	8	3
КП103Л	66	—55...+85	17	10	—	—	—	—	2,7...10,5	20	2...6	1,2...4,2	20	8	3
КП103М	120	—55...+85	17	10	—	—	—	—	3...12	20	2,8...7	1,3...4,4	20	8	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2П103А	120 60	-60...+85	15	10	10	—	—	—	0,55...1,2	10	0,5...2,2	0,7...2,1	17	8	3
2П103Б	120 60	-60...+85	15	10	10	—	—	—	1...2,1	10	0,8...3	0,8...2,6	17	8	3
2П103В	120 60	-60...+85	15	10	10	—	—	—	1,7...3,8	10	1,4...4	1,4...3,5	17	8	3
2П103Г	120 60	-60...+85	17	10	10	—	—	—	3...6,6	10	2...6	1,8...3,8	17	8	3
2П103Д	120 60	-60...+85	17	10	10	—	—	—	5,4...12	10	2,8...7	2...4,4	17	8	3
КП201Е	60	-40...+85	15	10	0,5	—	—	—	0,3...0,65	10	1,5	0,4	20	8	3
КП201Ж	60	-40...+85	15	10	0,5	—	—	—	0,55...1,2	10	2,2	0,7	20	8	3
КП201И	60	-40...+85	15	10	0,5	—	—	—	1...2,1	10	3	0,8	20	8	3
КП201К	60	-40...+85	15	10	0,5	—	—	—	1,7...3,8	10	4	1,4	20	8	3
КП201Л	60	-40...+85	15	10	0,5	—	—	—	3...6	10	6	1,8	20	8	3
2П201А	60	-60...+85	15	10	0,5	—	—	—	0,3...0,65	5	0,4...1,5	0,4...1,8	17	8	3
2П201Б	60	-60...+85	15	10	0,5	—	—	—	0,55...1,2	5	0,5...2,2	0,7...2,1	17	8	3
2П201В	60	-60...+85	15	10	0,5	—	—	—	1...2,1	5	0,8...3	0,8...2,6	17	8	3
2П201Г	60	-60...+85	15	10	0,5	—	—	—	1,7...3,8	5	1,4...4	1,4...3,5	17	8	3
2П201Д	60	-60...+85	15	10	0,5	—	—	—	3...6	5	2...6	1,8...3,8	17	8	3
КП301Б	200	-40...+70	—	20	30	—	15	—	5·10 ⁻⁴	0,3	—	1	3,5(3,5)	1	—
2П301А	200	-60...+85	—	20	30	—	15	—	5·10 ⁻⁴	0,3	—	1	3,5(3,5)	0,7	5
2П301Б	200	-60...+85	—	20	30	—	15	—	5·10 ⁻⁴	0,3	—	1	3,5(3,5)	1	—
Кремниевые р-п с каналом n															
КП302А	300	-60...+100	20	20	10	—	24	6	3...24	10	5	5	20	8	—
КП302Б	300	-60...+100	20	20	10	—	43	6	18...43	10	7	7	20	8	—
КП302В	300	-60...+100	20	20	12	—	—	6	33	10	10	—	20	8	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2П302А	300	—60...+125	20	20	10	—	24	6	3...24	10	5	5	20	8	—
2П302Б	300	—60...+125	20	20	10	—	43	6	18...43	10	7	7	20	8	—
2П302В	300	—60...+125	20	20	12	—	—	6	33	10	10	—	20	8	—
КП303А	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	0,5...2,5	10 ⁴ 1	0,5...3	1...4	6	2	—
КП303Б	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	0,5...2,5	10 ⁴ 1	0,5...3	1...4	6	2	—
КП303В	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	1,5...5	10 ⁴ 1	1...4	2...5	6	2	—
КП303Г	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	3...12	10 ⁴ 1	8	3...7	6	2	—
КП303Д	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	3...9	10 ⁴ 1	8	2,6	6	2	4
КП303Е	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	5...20	10 ⁴ 1	8	4	6	2	4
КП303Ж	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	0,3...3	10 ⁴ 5	0,3...3	1...4	6	2	—
КП303И	200 100	—40...+85	30	25	30	—	20	5	1,5...5	10 ⁴ 5	0,5...2	2...6	6	2	—
2П303А	200 55	—60...+125	30	25	30	—	20	5	0,5...2,5	10 ⁴ 1	0,5...3	1...4	6	2	—
2П303Б	200 55	—60...+125	30	25	30	—	20	5	0,5...2,5	10 ⁴ 1	0,5...3	1...4	6	2	—
2П303В	200 55	—60...+125	30	25	30	—	20	5	1,5...5	10 ⁴ 0,1	1...4	2...5	6	2	—
2П303Г	200 55	—60...+125	30	25	30	—	20	5	3...12	10 ⁴ 1	8	3...7	6	2	—
2П303Д	200 55	—60...+125	30	25	30	—	20	5	3...9	10 ⁴ 1	8	2,6	6	2	4
2П303Е	200 55	—60...+125	30	25	30	—	20	5	5...20	10 ⁴ 1	8	4	6	2	4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Кремниевые $p-n$ с каналом p															
КП304А	200(300)	—40...+85	30	25	30	—	30	—	$2 \cdot 10^{-4}$	20	5	4	9(6)	2	—
2П304А	200(300)	—60...+125	30	25	30	—	30	—	$2 \cdot 10^{-4}$	20	5	4	9(6)	2	—
Кремниевые $p-n$ с каналом n															
КП305Д	150 50	—60...+125	15	15	15	15	15	—	—	1	6	5,2...10,5	5	0,8	7,5
КП305Е	150 50	—60...+125	15	15	15	15	15	—	=	0,005	6	4...8	5	0,8	7,5
КП305Ж	150 50	—60...+125	15	15	15	15	15	—	—	1	6	5,2...10,5	5	0,8	6,5
КП305И	150 50	—60...+125	15	15	15	15	15	—	—	1	6	4...10,5	5	0,8	6,5
2П305А	150 50	—60...+125	30	15	30	15	15	—	—	1	6	6...10	5	0,8	6,5
2П305Б	150 50	—60...+125	30	15	30	15	15	—	—	0,001	6	4...8	5	0,8	—
2П305В	150 50	—60...+125	30	15	30	15	15	—	—	1	6	6...10	5	0,8	6,5
2П305Г	150 50	—60...+125	30	15	30	15	15	—	—	1	6	6...10	5	0,8	—

Табл. 15.4. Параметры полевых транзисторов с двумя затворами (кремниевых $p-n-p$ с каналом n)

Тип транзистора	$P_{\text{макс}}$, мВт	Диапазон рабочих температур, °C	U_{31} и макс., В	U_{32} и макс., В	U_{31-32} макс., В	$U_{СИ}$ макс., В	I_C макс., мА	I_C нач., мА	I_{31} ут., нА	U_{31} ост., В	U_{31} и., В	S , мА/В	$C_{31и}$ ($C_{11и}$), пФ	$C_{31с}$ ($C_{12и}$), пФ	$K_{ш}$, дБ	$f_{гр}$, МГц
КП306А	150	-60...+125	20	20	25	20	20	$5 \cdot 10^{-3}$	5	4	-0,5...+0,5	3-8	5	0,07	7	800
КП306Б	150	-60...+125	20	20	25	20	20	$5 \cdot 10^{-3}$	5	4	0...2	3-8	5	0,07	7	800
КП306В	150	-60...+125	20	20	25	20	20	$5 \cdot 10^{-3}$	5	6	-3,5...0	3-8	5	0,07	7	800
КП350А	200	-40...+85	15	15	—	15	30	3,5	5	6	—	6	(6)	(0,07)	6	—
КП350Б	200	-40...+85	15	15	—	15	30	3,5	5	6	—	6	(6)	(0,07)	6	—
КП350В	200	-40...+85	15	15	—	15	30	6	5	6	—	6	(6)	(0,07)	6	—
2П350А	200	-60...+85	15	15	—	15	30	3,5	5	6	—	6	(6)	(0,07)	6	—
2П350Б	200	-60...+85	15	15	—	15	30	3,5	5	6	—	6	(6)	(0,07)	6	—

ТИРИСТОРЫ

16. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

16.1. Устройство и принцип действия

Тиристор — полупроводниковый прибор, имеющий четырехслойную $p-n-p-n$ -структуру с тремя $p-n$ -переходами и одним управляющим выводом, при подаче сигнала на который прибор переводится из закрытого состояния в открытое в прямом направлении, и обладающий характеристикой с двумя устойчивыми состояниями в прямом направлении и запирающими свойствами в обратном направлении.

Тиристоры со специальной конструкцией $p-n-p-n$ -структуры, предназначенные для работы в импульсном режиме, называют *импульсными тиристорами*. Предельный ток импульсных тириستоров нормируется амплитудным значением импульса тока (ГОСТ 14069—72).

Четырехслойная структура тиристора $n-p-n-p$ показана на рис. 16.1,а. Она включает четыре области, образующие три последовательных $p-n$ -перехода. Крайние области структуры называют соответственно p - и n -эмиттерами, а области, примыкающие к среднему переходу, — p - и n -базами. Эмиттерные электроды (катод и анод) являются силовыми электродами. Переход 1 называют эмиттерным или катодным, переход 2 — коллекторным, а переход 3 — эмиттерным или анодным. Структура обладает двумя устойчивыми состояниями, соответствующими низкой и высокой проводимости.

Если на $n-p-n-p$ -структуру подано напряжение, то эмиттерные переходы окажутся смещенными в прямом направлении, а коллекторный — в обратном. В результате сопротивления эмиттерных переходов будут очень малыми, а коллекторного — очень большим. Следовательно, основное падение напряжения структуры окажется на коллекторном переходе. В этих условиях снижение потенциального барьера одного из эмиттерных переходов, например перехода 1, вызывает инжекцию электронов в p -базу (ток i_b), т. е. в базу транзистора $n-p-n$, где часть их рекомбинирует (рис. 16.1,б). Нерекombинированная часть электронов появляется в n -базе, т. е. в базовой области транзистора $p-n-p$. Нескомпенсированный объемный заряд этих электронов в n -базе осуществит «управление» вторым эмиттером, снизит потенциальный барьер перехода 3 и вызовет тем самым встречную электронам инжекцию дырок из p -эмиттера в n -базу (ток i_d), где часть их рекомбинирует. Нере-

комбинированная часть дырок появляется в p -базе и своим объемным зарядом вызывает вторичную инжекцию электронов и т. д. Таким образом, оба эмиттера вызывают вторичную взаимную инжекцию.

Носители заряда при заполнении базовых областей образуют дополнительную разность потенциалов на коллекторном переходе, снижающую его потенциальный барьер. Этим самым создаются необходимые условия развития лавинного процесса увеличения тока через структуру за счет ударной ионизации в коллекторном переходе — в структуре возникает положительная обратная связь по току. Ток во внешней цепи возрастает до значения, определяемого сопротивлением нагрузки. Структура переходит из состояния низкой проводимости в состояние высокой проводимости, характеризующее малой величиной напряжения на ней, примерно равной напряжению на эмиттерных переходах. Перевести структуру в первоначальное состояние можно лишь отключением анодного напряжения или уменьшением тока ниже некоторого критического значения $I_{уд}$ (например, путем увеличения ограничивающего сопротивления во внешней цепи).

При анализе четырехслойной структуры можно использовать коэффициенты усиления составляющих транзисторов. На рис. 16.1, а показано распределение токов в структуре. Сплошные стрелки ука-

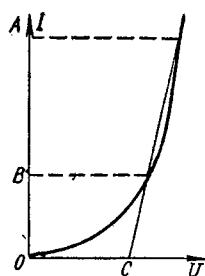
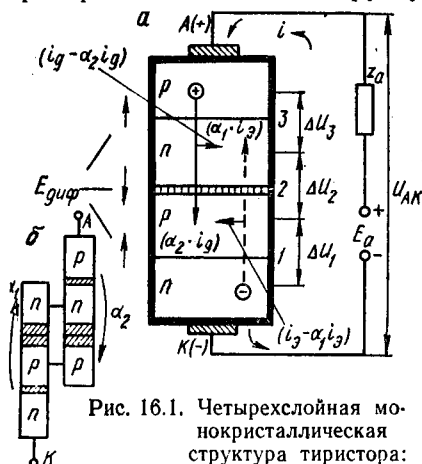


Рис. 16.2. Прямая вольт-амперная характеристика силового тиристора

ывают движение дырок, пунктирные — электронов. Запишем уравнения рекомбинационных токов баз. Ток рекомбинированных электронов p -базы равен $i_g - \alpha_1 i_g$ (α_1 — коэффициент передачи постоянного тока составляющего транзистора $n-p-n$). Помимо того, часть электронов из p -базы уходит за счет электронной составляющей обратного тока коллекторного перехода i_{ko_2} . Дырки, необходимые для рекомбинации, поставляются в p -базу за счет дырочного тока $\alpha_2 i_d$ из третьего перехода (α_2 — коэффициент передачи

транзистора $p-n-p$) и дырочной составляющей обратного тока коллекторного перехода $i_{\text{код}}$. Тогда уравнение рекомбинационных токов p -базы будет иметь вид:

$$i_3 - \alpha_1 i_3 - i_{\text{коз}} = \alpha_2 i_d + i_{\text{код}}.$$

Аналогичное уравнение можно получить и для n -базы:

$$i_d - \alpha_2 i_d - i_{\text{код}} = \alpha_1 i_3 + i_{\text{коз}}.$$

В уравнениях не учтены электронная составляющая тока третьего перехода и дырочная составляющая тока первого перехода из-за их малости.

Поскольку коллекторный переход является частью замкнутой электрической цепи, то очевидно, что ток во внешней цепи равен току через коллекторный переход, т. е. $i_K = i$.

Учитывая, что при диодном включении структуры (при отсутствии управляющего электрода) через все три перехода будет протекать один и тот же ток $i = i_3 = i_d$, получим:

$$i(1 - \alpha_1 - \alpha_2) = i_{\text{ко}},$$

где $i_{\text{ко}} = i_{\text{коз}} + i_{\text{код}}$ — обратный ток коллекторного перехода, зависящий от напряжения. Обычно, если U_K превышает несколько вольт, можно считать $U_K \approx U_{AK}$.

Выразив уравнение относительно тока i , получим

$$i = \frac{i_{\text{ко}}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}.$$

Это уравнение является фундаментальным соотношением четырехслойной структуры.

Коэффициенты α_1 и α_2 зависят от тока эмиттера, напряжения на коллекторном переходе и других причин. У кремниевых транзисторов эти коэффициенты растут с увеличением эмиттерного тока.

16.2. Система условных обозначений

Обозначение тиристоров малой и средней мощности в соответствии с ГОСТ 10862—72 состоит из букв и цифр.

Первый элемент обозначения определяет исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор. Обозначения исходного материала для приборов, используемых в устройствах широкого применения, следующие: германий или соединения германия — Г; кремний или соединения кремния — К; соединения галлия — А. Обозначения исходного материала для приборов, используемых в устройствах специального назначения, следующие: германий или соединения германия — 1; кремний или соединения кремния — 2; соединения галлия — 3.

**Табл. 16.1. Обозначение тиристоров в зависимости от назначения
(третий элемент обозначения)**

Тиристоры	Обозначение
Диодные:	
малой мощности (с допускаемым значением прямого тока не более 0,3 А)	1
средней мощности (с допускаемым значением прямого тока более 0,3 А, но не более 10 А)	2
Триодные	
Незапираемые:	
малой мощности	1
средней мощности	2
Запираемые:	
малой мощности	3
средней мощности	4
Симметричные незапираемые:	
малой мощности	5
средней мощности	6

Второй элемент обозначения определяет подкласс прибора: для тиристоров диодных ¹ — Н; для тиристоров триодных — У.

Третий элемент обозначения определяет назначение прибора и указан в табл. 16.1.

Четвертый и пятый элементы определяют порядковый номер разработки технологического типа прибора и обозначаются от 01 до 99.

Шестой элемент обозначения определяет деление технологического типа на параметрические группы и обозначается буквами русского алфавита от А до Я.

Обозначение наборов дискретных приборов производится в соответствии с разновидностью дискретного прибора с добавлением буквы С перед последним элементом обозначения.

Примеры обозначений:

тиристор диодный, предназначенный для устройств специального назначения, кремниевый, малой мощности, номер разработки 02, группа А: 2Н102А;

тиристор триодный незапираемый, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, средней мощности, номер разработки 14, группа В: КУ214В.

Обозначение силовых тиристоров (на токи от 10 до 1000 А) установлено ГОСТ 14069—72 и состоит из букв и цифр.

Первым элементом обозначения является буква Т (тиристор). *Вторым элементом* являются цифры, указывающие предельный ток

¹ В соответствии с решением Международной электротехнической комиссии для двух-, трех- и четырехэлектродных тиристорных полупроводниковых приборов введены названия: диод-тиристор, триод-тиристор и тетрод-тиристор.

Табл. 16.2. Классы тиристоров типа Т и ТВ в зависимости от повторяющегося напряжения (третий элемент обозначения)

Класс	Повторяющееся напряжение, В	Неповторяющееся напряжение, В	Класс	Повторяющееся напряжение, В	Неповторяющееся напряжение, В
0,5	50	60	10	1000	1120
1,0	100	110	11	1100	1230
1,5	150	170	12	1200	1340
2,0	200	225	13	1300	1460
2,5	250	280	14	1400	1570
3,0	300	335	16	1600	1800
4,0	400	450	18	1800	2000
5,0	500	560	20	2000	2250
6,0	600	670	22	2200	2460
7,0	700	785	24	2400	2680
8,0	800	900	26	2600	2900
9,0	900	1000			

Табл. 16.3. Классы тиристоров типа ТЛ и ТЛВ в зависимости от повторяющегося напряжения (третий элемент обозначения)

Класс	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В, не менее	Класс	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В, не менее
3	300	360	10	1000	1200
4	400	480	11	1100	1320
5	500	600	12	1200	1440
6	600	720	13	1300	1560
7	700	840	14	1400	1680
8	800	960	15	1500	1800
9	900	1080			

Табл. 16.4. Группы тиристоров, соответствующие значениям критической скорости нарастания прямого напряжения (четвертый элемент обозначения)

Группа	Критическая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс, не менее	Группа	Критическая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс, не менее
0	не нормируется	4	200
1	20	5	500
2	50	6	1000
3	100		

Примечание. Тиристоры Т50 и Т160 подразделяются на группы, начиная с группы 1.

Табл. 16.5. Группы тиристоров, соответствующие значениям времени выключения (пятый элемент обозначения)

Группа	Время выключения, мкс, не более	Группа	Время выключения, мкс, не более
0	не нормируется	5	50
1	250	6	30
2	150	7	20
3	100	8	15
4	70	9	12

Примечание. Тиристоры Т50 и Т160 подразделяются на группы, начиная с группы 1.

Табл. 16.6. Группы тиристоров, соответствующие значениям критической скорости нарастания прямого тока (шестой элемент обозначения)

Группа	Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс, не менее	Группа	Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс, не менее
0	не нормируется	5	200
1	20	6	400
2	40	7	600
3	70	8	800
4	100	9	1000

Примечание. Тиристоры Т50 и Т160 подразделяются на группы, начиная с группы 2.

в амперах. Для тиристоров с лавинной характеристикой в обозначении ставят букву Л. Тиристоры с водяным охлаждением содержат в обозначении букву В. При наличии нескольких конструктивных исполнений тиристора одного и того же типа буквенную часть обозначения типа дополняют цифрой, указывающей номер исполнения (для первого исполнения цифру 1 не указывают). В этом случае после цифры, указывающей номер исполнения, ставится тире. У тиристоров с обратной полярностью обозначение типа дополняют буквой Х.

В зависимости от значения повторяющегося напряжения тиристоры типов Т и ТВ, ТЛ и ТЛВ подразделяются на классы, указанные в табл. 16.2 и 16.3.

Третий элемент в обозначении тиристора — цифра, указывающая его класс, стоит после цифр, указывающих предельный ток.

Последние три цифры в обозначении тиристоров указывают на принадлежность к следующим группам.

В зависимости от критической скорости нарастания прямого напряжения (dU/dt) при максимально допустимой температуре $p-n-p$ -структуры и напряжений, равном 0,67 повторяющегося, тиристоры подразделяются на группы, указанные в табл. 16.4 (четвертый элемент обозначения).

В зависимости от времени выключения при максимально допустимой температуре структуры тиристоры подразделяются на группы, указанные в табл. 16.5 (*пятый элемент*).

В зависимости от критической скорости нарастания прямого тока (di/dt) при максимально допустимой температуре структуры тиристоры подразделяются на группы, указанные в табл. 16.6 (*шестой элемент* обозначения).

Примеры условных обозначений:

тиристор с водяным охлаждением, второго конструктивного исполнения, на предельный ток 1000 А, повторяющегося напряжения 600 В, с критической скоростью нарастания прямого напряжения 20 В/мкс, временем выключения до 70 мкс и критической скоростью нарастания прямого тока 20 А/мкс:

ТВ2—1000—6—141,

где ТВ2 — первый, 1000 — второй, 6 — третий, 1 — четвертый, 4 — пятый и 1 — шестой элементы обозначения;

тиристор с воздушным охлаждением, первого конструктивного исполнения, на предельный ток 200 А, обратной полярности, повторяющегося напряжения 1200 В, с критической скоростью нарастания прямого напряжения 50 В/мкс, временем выключения до 100 мкс и критической скоростью нарастания прямого тока 50 А/мкс, с разбросом по прямому падению напряжения от 1,7 до 1,8 В:

Т200Х—12—232 1,7—1,8;

тиристор с воздушным охлаждением первого конструктивного исполнения, на предельный ток 10 А, повторяющегося напряжения 700 В, с ненормированными значениями времени выключения и критических скоростей нарастания прямого напряжения и тока:

Т10—7—000;

тиристор с воздушным охлаждением, первого конструктивного исполнения на предельный ток 160 А, повторяющегося напряжения 700 В, с критической скоростью нарастания прямого напряжения 20 В/мкс, временем выключения до 70 мкс и критической скоростью нарастания прямого тока 50 А/мкс:

ТЛ160—7—142.

Графические обозначения тиристоров на схемах установлены ГОСТ 2.730—73 и приведены в табл. 16.7.

Табл. 16.7. Условные графические обозначения тиристоров

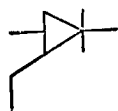
Диодный тиристор (динистор)



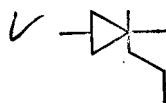
Диодный симметричный тиристор



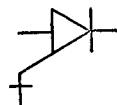
Триодный незапираемый тиристор с управлением по аноду



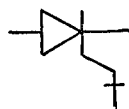
Триодный незапираемый тиристор с управлением по катоду



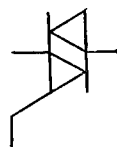
Триодный запираемый тиристор с управлением по аноду



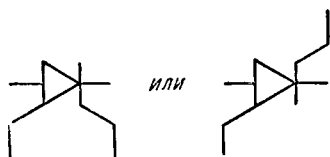
Триодный запираемый тиристор с управлением по катоду



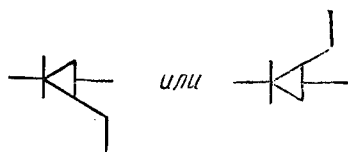
Триодный симметричный незапираемый тиристор



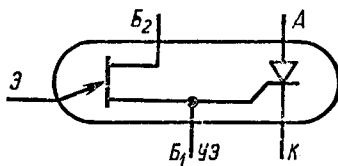
Тетродный тиристор



Примечание. Для упрощения графики схемы допускается выполнять условные графические обозначения тириستоров в зеркальном изображении, например:



Гибридный пороговый тиристор



16.3. Термины и определения электрических параметров тиристоров малой и средней мощности

К тиристорам (диодным и триодным) малой и средней мощности относятся тиристоры с максимальным средним током в открытом состоянии не более 10 А. Ниже даются определения терминов и основных электрических параметров таких тиристоров.

Термины, характеризующие электрический режим тиристора, следующие:

Открытое состояние — состояние тиристора, соответствующее точке на низковольтном и низкоомном участке вольт-амперной характеристики.

Закрытое состояние — состояние тиристора, соответствующее точке на участке вольт-амперной характеристики между нулевой точкой и точкой включения.

Точка включения — точка на вольт-амперной характеристике, в которой дифференциальное сопротивление равно нулю, а основное напряжение достигает максимального значения, при определенном режиме в цепи управляющего электрода.

Основные электроды — электроды тиристора, подключаемые к цепи нагрузки.

Анод — электрод тиристора, к которому поступает прямой ток из внешней цепи.

Катод — электрод тиристора, по которому прямой ток поступает во внешнюю цепь.

Управляющий электрод — электрод тиристора, к которому или от которого поступает ток управления (ток управляющего электрода).

Отпирающий импульс — импульс с определенными параметрами, который вызывает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое.

Основное напряжение — напряжение между основными электродами. Для всех тиристоров, исключая симметричные, основное напряжение называется положительным, когда потенциал анода выше потенциала катода, и называется отрицательным в тех случаях, когда потенциал анода ниже потенциала катода. Для симметричных тиристоров следует обуславливать полярность основного напряжения.

Анодное напряжение — напряжение между анодом и катодом.

Основной ток — ток, протекающий через основные электроды тиристора.

*Анодный ток*¹ — ток, протекающий через анод тиристора.

Прямое напряжение — положительное анодное напряжение.

*Прямой ток*¹ — анодный ток, соответствующий прямому напряжению.

Ток в открытом состоянии — основной ток, протекающий через тиристор, находящийся в открытом состоянии.

¹ Термин не распространяется на симметричные тиристоры.

Напряжение в закрытом состоянии — основное напряжение на тиристоре, находящемся в закрытом состоянии.

*Обратное напряжение*¹ — отрицательное анодное напряжение.

Напряжение на управляющем электроде — напряжение между управляющим и определенным основным электродами.

*Прямое напряжение на управляющем электроде*¹ — отрицательное напряжение между управляющим электродом и анодом для тиристора с *N*-управляющим электродом² или положительное напряжение между управляющим электродом и катодом для тиристора с *P*-управляющим электродом.³

Обратное напряжение на управляющем электроде — положительное напряжение между управляющим электродом и анодом для тиристора с *N*-управляющим электродом или отрицательное напряжение между управляющим электродом и катодом для тиристора с *P*-управляющим электродом.

Ток управляющего электрода — ток, протекающий через управляющий и один из основных электродов.

*Прямой ток управляющего электрода*¹ — ток, соответствующий прямому напряжению на управляющем электроде.

*Обратный ток управляющего электрода*¹ — ток, соответствующий обратному напряжению на управляющем электроде.

Термины, относящиеся к характеристикам электрофизических свойств тиристорov, следующие:

Напряжение включения $U_{\text{вкл. T}}$ — основное напряжение в точке включения тиристора.

Ток включения $I_{\text{вкл. T}}$ — основной ток в точке включения тиристора.

Удерживающий ток $I_{\text{уд. T}}$ — минимальный основной ток, который необходим для поддержания тиристора в открытом состоянии при определенном режиме в цепи управляющего электрода.

Напряжение в открытом состоянии $U_{\text{откр. T}}$ — основное напряжение при определенном токе в открытом состоянии тиристора.

Ток в закрытом состоянии $I_{\text{зкр. T}}$ — основной ток при определенном напряжении в закрытом состоянии, при определенном режиме в цепи управляющего электрода тиристора.

Обратный ток $I_{\text{обр. T}}$ — анодный ток при определенном обратном напряжении на тиристоре.

Обратное напряжение пробоя $U_{\text{проб. T}}$ — напряжение на тиристоре, при котором обратный ток через переход становится больше заданного значения.

Динамическое сопротивление в открытом состоянии $r_{\text{дин. T}}$ — значение сопротивления, рассчитанное по наклону прямой линии,

¹ Термин не распространяется на симметричные тиристоры.

² Тиристор с *N*-управляющим электродом — тиристор, у которого управляющий электрод соединен с *N*-областью, ближайшей к катоду, и который обычно переводится в открытое состояние путем подачи на управляющий электрод отрицательного по отношению к катоду сигнала.

³ Тиристор с *P*-управляющим электродом — тиристор, у которого управляющий электрод соединен с *P*-областью, ближайшей к аноду, и который обычно переводится в открытое состояние путем подачи на управляющий электрод положительного по отношению к катоду сигнала.

которая аппроксимирует вольт-амперную характеристику в открытом состоянии тиристора.

Общая емкость $C_{\text{общ. т}}$ — емкость между основными электродами тиристора при определенном напряжении в закрытом состоянии.

Постоянный отпирающий ток управляющего электрода $I_{\text{у. от. т}}$ — минимальное значение постоянного тока управляющего электрода, которое обеспечивает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое при определенных режимах в цепях основных и управляющего электродов.

Импульсный отпирающий ток управляющего электрода $I_{\text{у. от. и. т}}$ — минимальное значение амплитуды импульса тока управляющего электрода, которое обеспечивает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое при определенных режимах в цепях основных и управляющего электродов.

Постоянное отпирающее напряжение на управляющем электроде $U_{\text{у. от. т}}$ — напряжение на управляющем электроде тиристора, соответствующее постоянному отпирающему току управляющего электрода.

Импульсное отпирающее напряжение на управляющем электроде $U_{\text{у. от. и. т}}$ — значение амплитуды импульса напряжения на управляющем электроде тиристора, соответствующее импульсному отпирающему току управляющего электрода.

Неотпирающее напряжение на управляющем электроде $U_{\text{у. неот. т}}$ — максимальное значение напряжения на управляющем электроде тиристора, которое не вызывает переключения тиристора из закрытого состояния в открытое при определенных режимах в цепях основных и управляющего электродов.

Неотпирающий ток управляющего электрода $I_{\text{у. неот. т}}$ — ток управляющего электрода, соответствующий неотпирающему напряжению на управляющем электроде тиристора.

Импульсное неотпирающее напряжение $U_{\text{неот. и. т}}$ — минимальное значение амплитуды импульса основного напряжения с определенной длительностью переднего фронта, которое обеспечивает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое.

Импульсное отпирающее напряжение $U_{\text{от. и. т}}$ — максимальное значение амплитуды импульса основного напряжения с определенной длительностью фронта, не вызывающее переключения тиристора из закрытого состояния в открытое при определенном режиме в цепи основных электродов.

Импульсный запирающий ток управляющего электрода $I_{\text{у. з. и. т}}$ — минимальное значение амплитуды импульса обратного тока управляющего электрода, которое обеспечивает переключение тиристора из открытого состояния в закрытое при определенных режимах в цепях основных и управляющего электродов.

Импульсное запирающее напряжение на управляющем электроде $U_{\text{у. з. и. т}}$ — значение амплитуды импульса напряжения на управляющем электроде тиристора, соответствующее импульсному запирающему току управляющего электрода.

Незапирающее напряжение на управляющем электроде $U_{y, \text{нз}, T}$ — максимальное значение обратного напряжения на управляющем электроде тиристора, которое не вызывает переключение тиристора из открытого состояния в закрытое при определенных режимах в цепях основных и управляющего электродов.

Незапирающий ток управляющего электрода $I_{y, \text{нз}, T}$ — ток управляющего электрода, соответствующий незапирающему напряжению на управляющем электроде тиристора.

Время выключения $t_{\text{выкл}, T}$ — интервал времени между моментом, когда основной ток уменьшается до нуля при переключении тиристора по цепи основных электродов из открытого состояния в закрытое, и моментом, когда анодное напряжение тиристора проходит через нулевое значение после приложения импульса основного напряжения с определенными параметрами, не вызывающего переключение тиристора в открытое состояние, при определенном режиме в цепи управляющего электрода.

Время включения $t_{\text{вкл}}$ — интервал времени между моментом в начале отпирающего импульса, соответствующим 0,1 его амплитуды, и моментом, когда основное напряжение падает до 0,1 значения разности напряжений в закрытом и открытом состоянии тиристора. Может быть определено также как интервал времени между моментом в начале отпирающего импульса, соответствующим 0,1 его амплитуды, и моментом, когда основной ток увеличивается до 0,9 его значения в открытом состоянии. Время включения тиристора равно сумме времени задержки и времени нарастания для тиристора.

Время задержки для тиристора $t_{\text{зд}, T}$ — интервал времени между моментом в начале отпирающего импульса, соответствующим 0,1 его амплитуды, и моментом, когда основное напряжение падает до 0,9 значения разности напряжений в закрытом и открытом состоянии. Может быть определено также как интервал времени между моментом в начале отпирающего импульса, соответствующим 0,1 его амплитуды, и моментом, когда основной ток увеличивается до 0,1 его значения в открытом состоянии.

Время нарастания $t_{\text{нр}, T}$ — интервал времени, в течение которого основной ток увеличивается от 0,1 до 0,9 значения тока в открытом состоянии. Может быть определено также как интервал времени между моментами, когда основное напряжение падает от 0,9 до 0,1 значения разности напряжений в закрытом и открытом состоянии тиристора.

Время запаздывания для тиристора $t_{\text{зп}, T}$ — интервал времени между моментом в начале запирающего импульса управляющего электрода, соответствующим 0,1 его амплитуды, и моментом, когда основной ток уменьшается до 0,9 значения определенного тока в открытом состоянии при определенном режиме в цепи основных электродов.

Время спада для тиристора $t_{\text{сп}, T}$ — интервал времени, в течение которого основной ток тиристора уменьшается от 0,9 до 0,1 зна-

чения определенного тока в открытом состоянии при определенном режиме в цепи основных электродов.

Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии $\left| \frac{dU_{\text{зкр}}}{dt} \right|_{\text{кр}}$ — минимальное значение скорости нарастания основного напряжения, которое вызывает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое при определенном основном напряжении и определенном режиме в цепи управляющего электрода.

Минимальный ток в открытом состоянии $I_{\text{откр, мин, т}}$ — минимальное значение основного тока, при котором гарантируется переключение тиристора из закрытого состояния в открытое при подаче импульсного отпирающего тока управляющего электрода и сохранение тиристором открытого состояния.

Минимальное напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{зкр, мин, т}}$ — минимальное значение основного напряжения в закрытом состоянии тиристора, при котором гарантируется переключение тиристора из закрытого состояния в открытое при подаче импульсного отпирающего тока управляющего электрода и сохранение тиристором открытого состояния.

Термины, относящиеся к максимально допустимым параметрам, следующие:

Максимально допустимая средняя рассеиваемая мощность $P_{\text{ср, мако, т}}$ — максимальное значение средней мощности, рассеиваемой на тиристоре, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимая импульсная рассеиваемая мощность $P_{\text{и, мако, т}}$ — максимальное значение импульсной мощности, рассеиваемой на тиристоре с определенной скважностью и длительностью импульсов, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимая импульсная мощность на управляющем электроде $P_{\text{у, и, макс, т}}$ — максимальное значение импульсной мощности, рассеиваемой на управляющем электроде с определенной скважностью и длительностью импульсов, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии $I_{\text{откр, ср, макс, т}}$ — максимальное среднее значение тока в открытом состоянии за один полный период, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый постоянный ток в открытом состоянии $I_{\text{откр, макс, т}}$ — максимальное значение постоянного тока в открытом состоянии, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый импульсный ток в открытом состоянии $I_{\text{откр, и, макс, т}}$ — максимальное значение амплитуды импульсов тока в открытом состоянии с определенной скважностью и длительностью, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое прямое постоянное напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{пр, зкр, мако, т}}$ — максимальное значение по-

стоянного прямого основного напряжения, при котором тиристор находится в закрытом состоянии при определенном режиме в цепи управляющего электрода и обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое импульсное прямое напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{пр, зкр, и, макс, Т}}$ — максимальное значение амплитуды импульсов прямого основного напряжения с определенной скоростью нарастания напряжения переднего фронта, при котором тиристор находится в закрытом состоянии при определенном режиме в цепи управляющего электрода и обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{\text{обр, макс, Т}}$ — максимальное значение постоянного обратного напряжения, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое импульсное обратное напряжение $U_{\text{обр, и, макс, Т}}$ — максимальное значение амплитуды импульсов обратного напряжения с определенной скважностью и длительностью, при которой обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый постоянный прямой ток управляющего электрода $I_{\text{пр, у, макс}}$ — максимальное значение постоянного прямого тока управляющего электрода, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый импульсный прямой ток управляющего электрода $I_{\text{пр, у, и, макс, Т}}$ — максимальное значение амплитуды импульсов прямого тока управляющего электрода с определенной скважностью и длительностью, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение на управляющем электроде $U_{\text{обр, у, макс, Т}}$ — максимальное значение постоянного обратного напряжения на управляющем электроде тиристора, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый постоянный обратный ток управляющего электрода $I_{\text{обр, у, макс, Т}}$ — максимальное значение постоянного обратного тока управляющего электрода, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимый постоянный запираемый ток $I_{\text{з, макс, Т}}$ — наибольшее значение основного тока, с которого допускается запертие тиристора по управляющему электроду.

Максимально допустимая скорость нарастания тока в открытом состоянии $\left| \frac{dI_{\text{откр}}}{dt} \right|_{\text{макс}}$ — максимальное значение скорости нарастания тока в открытом состоянии, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии $\left| \frac{dU_{\text{зкр}}}{dt} \right|_{\text{макс}}$ — максимальное значение скорости нарастания основного напряжения в закрытом состоянии меньше критической, при котором обеспечивается закрытое состояние тиристора при определенных режимах в цепях основных и управляющих электродов.

Ток включения однопереходного транзистора $I_{\text{вкл}}$ — значение эмиттерного тока, при котором происходит переход транзистора из закрытого состояния в открытое. *Ток утечки эмиттерного перехода $I_{\text{зкр, э}}$* — обратный ток эмиттерного перехода однопереходного транзистора, смещенного в обратном направлении относительно базы 2.

Ток в закрытом состоянии $I_{\text{зкр}}$ — основной ток при определенном напряжении в закрытом состоянии, при определенном режиме в цепи управляющего электрода.

Постоянный отпирающий ток управляющего электрода ($УЭ$) $I_{у, \text{от}}$ — минимальное значение постоянного тока $УЭ$, которое обеспечивает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое при определенных режимах в цепях основных и управляющего электродов.

Напряжение в открытом состоянии $U_{\text{откр}}$ — основное напряжение при определенном токе в открытом состоянии.

Межбазовое сопротивление $r_{\text{Б1Б2}}$ — сопротивление между базами однопереходного транзистора.

Время нарастания триодного тиристора $t_{\text{нар}}$.

Время выключения триодного тиристора $t_{\text{выкл}}$.

Коэффициент передачи однопереходного транзистора η — отношение максимально возможного эмиттерного напряжения минус падение напряжения на $p-n$ -переходе к приложенному межбазовому напряжению.

Максимально допустимый постоянный ток эмиттера однопереходного транзистора $I_{\text{э макс}}$ — наибольшее значение постоянного тока эмиттера при заданной температуре окружающей среды.

Максимально допустимый постоянный ток через $УЭ$ триодного тиристора — $I_{у, \text{от макс}}$.

Максимально допустимое постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{пр, зкр, макс}}$ — наибольшее значение постоянного или амплитуды прямого напряжения, при котором тиристор находится в закрытом состоянии.

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение на $УЭ$ триодного тиристора $U_{\text{обр, у, макс}}$ — максимальное значение постоянного обратного напряжения на управляющем электроде, при котором обеспечивается заданная надежность.

Максимально допустимое обратное анодное напряжение на триодном тиристоре $U_{\text{обр, а, макс}}$.

Максимально допустимое межбазовое напряжение любой формы и периодичности между базами однопереходного транзистора $U_{\text{Б1Б2 макс}}$.

Максимально допустимое обратное напряжение между эмиттером и базой 2 однопереходного транзистора $U_{\text{обр, ЭБ2 макс}}$.

Максимально допустимая мощность рассеяния $P_{\text{макс}}$ — наибольшее значение рассеиваемой мощности гибридных пороговых тиристоров.

16.4. Характеристики и определения электрических параметров силовых тиристоров

В соответствии с ГОСТ 14069—72 основными электрическими параметрами и характеристиками силовых тиристоров являются следующие:

Прямая вольт-амперная характеристика в открытом состоянии — зависимость прямого падения напряжения от протекающего прямого тока в мгновенных значениях при определенной температуре $p-n-p$ -структуры (рис. 16.2).

• *Ток удержания* — минимальный прямой ток через тиристор при разомкнутой цепи управляющего вывода, при котором тиристор еще находится в открытом состоянии.

• *Ток выключения* — минимальный прямой ток, необходимый для поддержания тиристора в открытом состоянии непосредственно после переключения, при снятии управляющего импульса определенной амплитуды и длительности.

• *Температура корпуса* — температура, измеренная в указанной предприятием-изготовителем точке корпуса.

• *Предельный ток тиристорov* — максимально допустимое среднее за период значение тока частотой 50 Гц, синусоидальной формы, длительно протекающего через тиристор при его работе в однофазной однополупериодной схеме на активную нагрузку и угле проводимости 180 эл. градусов при максимально допустимой температуре $p-n-p$ -структуры и при определенных тепловых условиях. При нагрузке тиристора предельным током рабочие перегрузки недопустимы. Предельный ток при заданной температуре корпуса определяет тип тиристора и указывается в таблице основных параметров.

Значение интеграла $\int i^2 dt$ — максимально допустимое значение интеграла квадрата аварийного тока по времени при заданной начальной температуре $p-n-p$ -структуры и без приложения напряжения после воздействия импульса тока.

Повторяющееся напряжение — наибольшее мгновенное значение напряжения, прикладываемого к тиристорv в обратном или прямом закрытом направлениях, с учетом всех повторяющихся переходных напряжений, но исключая все неповторяющиеся переходные напряжения¹. Повторяющееся напряжение обычно является функцией схемы преобразователя (например, выбросы при восстановлении прямого или обратного напряжения после коммутации) и увеличивает мощность, рассеиваемую в тиристоре.

Неповторяющееся напряжение — наибольшее мгновенное значение любого неповторяющегося переходного напряжения, прикладываемого к тиристорv в обратном или прямом направлении в за-

¹ Повторяющееся напряжение в прямом направлении отнесено к заданному значению скорости нарастания прямого напряжения при разомкнутой цепи управляющего вывода.

крытом состоянии¹. Неповторяющееся переходное напряжение обычно определяется внешней по отношению к преобразователю причиной (например, грозовые или внутренние перенапряжения в питающей сети переменного тока); предполагается, что его влияние полностью исчезает перед следующим прикладываемым извне перенапряжением.

Мощность потерь в открытом состоянии — среднее за период значение произведения мгновенных значений прямого тока и прямого падения напряжения.

Эффективный прямой ток — среднее квадратичное за период значение прямого тока.

Отпирающий ток управления — наименьшее значение тока управления, необходимое для переключения тиристора.

Неотпирающий ток управления — наибольшее значение тока управления, при котором тиристор не переключается.

Отпирающее напряжение управления — напряжение управления, необходимое для получения отпирающего тока управления.

Неотпирающее напряжение управления — наибольшее значение напряжения управления, при котором тиристор не переключается.

Время включения тиристора — время от момента подачи управляющего импульса до момента снижения анодного напряжения на тиристоре до 10% от начального значения при работе тиристора на активную нагрузку.

Время задержки — время от момента подачи управляющего импульса до момента уменьшения прямого напряжения до 90% его начального значения при переключении тиристора из закрытого состояния в открытое.

Время нарастания — время, соответствующее уменьшению прямого напряжения с 90 до 10% его начального значения при переключении тиристора подачей управляющего импульса.

Время выключения тиристора — время от момента, когда прямой ток через тиристор достиг своего нулевого значения, до момента, когда тиристор способен выдерживать, не переключаясь, прикладываемое в прямом направлении напряжение.

Ударный ток — максимальная амплитуда импульса аварийного тока синусоидальной формы длительностью 10 мс при заданной начальной температуре $p-n-p$ -структуры без последующего приложения напряжения.

Критическая скорость нарастания прямого напряжения — максимальное значение скорости нарастания прямого напряжения, при котором не происходит переключения тиристора при заданном напряжении и разомкнутой цепи управляющего вывода.

Критическая скорость нарастания прямого тока через тиристор — максимальное значение скорости нарастания прямого тока через тиристор, не вызывающее необратимые процессы в $p-n$ —

¹ Неповторяющееся напряжение в прямом направлении отнесено к заданному значению скорости нарастания прямого напряжения при разомкнутой цепи управляющего вывода.

p - n -структуре и связанное с ними ухудшение электрических параметров тиристора.

Максимальное обратное напряжение — напряжение, соответствующее области загиба обратной ветви вольт-амперной характеристики тиристора, когда даже при небольшом приращении напряжения резко увеличивается обратный ток.

Напряжение лавинообразования — напряжение, соответствующее области загиба обратной или прямой ветви вольт-амперной характеристики, когда даже при небольшом приращении напряжения резко увеличивается обратный ток или ток утечки.

Максимальное напряжение переключения — напряжение в прямом закрытом состоянии, при котором происходит переключение тиристора при разомкнутой цепи управляющего вывода.

Обратный ток и ток утечки — токи, протекающие через тиристор при разомкнутой цепи управляющего вывода при приложении к нему напряжения в обратном или прямом направлении в закрытом состоянии.

Прямое падение напряжения — напряжение на тиристоре при прохождении через него прямого тока.

17. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТИРИСТОРОВ

17.1. Диодные тиристоры

Диодным называют тиристор, имеющий два вывода. Промышленностью выпущены диодные тиристоры (диод-тиристоры) типов Д227, Д228, КН102. Диодные тиристоры типа КН102 имеют металлостеклянный корпус с гибкими выводами. По внешнему виду они не отличаются от обычных диодов.

На параметры диодных тириستоров существенное влияние оказывает температура окружающей среды. Так, для большинства диодных тиристоров с ростом температуры уменьшаются напряжение и ток включения, удерживающий ток, максимально допустимое обратное напряжение.

Электрические параметры диодных тиристоров приведены в табл. 17.1.

17.2. Триодные тиристоры

Триодным называют тиристор, имеющий три вывода (*тринистор*).

Структура триодного тиристора показана на рис. 17.1, а. Отличительной особенностью ее является наличие управляющего электрода (УЭ). Триодные тиристоры управляются током, так как напряжение на их зажимах является функцией тока $u=f(i)$, т. е. каждому значению тока соответствует только одно значение напряжения. Но по отношению к току эта характеристика не является однозначной. Так, например, напряжению u_1 соответствуют три значения тока i_1 , i_2 и i_3 (рис. 17.1, б). Для питания цепей управ-

Табл. 17.1. Параметры диодных тиристоров

Тип тиристора	$I_{откр. макс.}$ мА	$U_{пр. зкр. макс.}$ В	$I_{зкр. макс.}$ мА	$I_{обр. макс.}$ мА	$U_{откр. макс.}$ В	$U_{от. н. макс.}$ В	$U_{неот. н. макс.}$ В	$I_{уд. макс.}$ мА	$I_{выкл. макс.}$ мкс	$C_{общ. пФ}$ при $U_{обр. макс.}=0$	$I_{обр. макс.}$ В	$I_{откр. н. макс.}$ А	Диапазон рабочих температур, °С
КН102А	200	5	100	0,5	1,5	20	2	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102А	200	5	80	0,5	1,5	20	2	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102Б	200	7	100	0,5	1,5	28	3	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102Б	200	7	80	0,5	1,5	28	3	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102В	200	10	100	0,5	1,5	40	4	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102В	200	10	80	0,5	1,5	40	4	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102Г	200	14	100	0,5	1,5	56	6	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102Г	200	14	80	0,5	1,5	56	6	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102Д	200	20	100	0,5	1,5	80	8	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102Д	200	20	80	0,5	1,5	80	8	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102Е	200	30	100	0,5	1,5	75	7,5	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102Е	200	30	80	0,5	1,5	75	7,5	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102Ж	200	30	100	0,5	1,5	120	12	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102Ж	200	30	80	0,5	1,5	120	12	0,1	40	80	10	2	-60...+100
КН102И	200	50	100	0,5	1,5	150	15	0,1	40	80	10	2	-40...+70
2Н102И	200	50	80	0,5	1,5	150	15	0,1	40	80	10	2	-60...+100

¹ При $I_{откр. макс.} = 200$ мА и следующих значениях температуры окружающей среды: для кремниевых тиристоров широкого применения — 70°С, для кремниевых тиристоров промышленного применения — 100°С.

² При $I_{откр. н. макс.} = 1$ А, $\tau_p = 10$ мкс и следующих значениях $U_{зкр. н. макс.}$ и в зависимости от принадлежности к параметрической группе: А — 5 В, Б — 7 В, В — 10 В, Г — 14 В, Д — 20 В, Е, Ж — 30 В, И — 50 В.

ления таких приборов необходимо использовать источники тока или источники напряжения с малым внутренним сопротивлением.

На рис. 17.1, а показана конструкция одного из образцов триодного тиристора. Основой прибора служит пластина из кремния, включающая три области, полученные методом диффузии, и четвертую область (n -область), образуемую вплавлением сплава золота с сурьмой в верхнюю p -область.

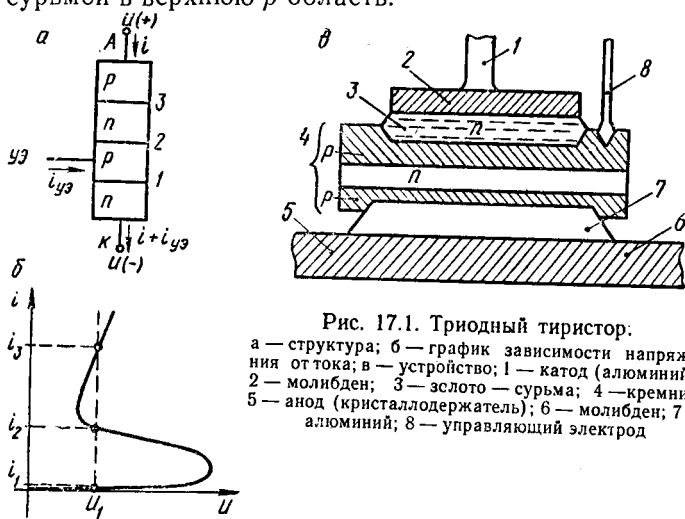


Рис. 17.1. Триодный тиристор:
а — структура; б — график зависимости напряжения от тока; в — устройство; 1 — катод (алюминий); 2 — молибден; 3 — золото — сурьма; 4 — кремний; 5 — анод (кристаллодержатель); 6 — молибден; 7 — алюминий; 8 — управляющий электрод

Триодный тиристор, как и диодный, может находиться в одном из двух устойчивых состояний. Первое состояние характеризуется малым током, протекающим через структуру, и большим падением напряжения на ней. Второе состояние соответствует малому падению напряжения на структуре и большому току, протекающему через нее. Если переключение диодных тиристорov в проводящее состояние происходит при достижении на их электродах напряжения некоторой вполне определенной величины $U_{вкл.}$, то переключение триодных тиристорov в проводящее состояние почти не зависит от приложенного к ним напряжения.

Поскольку коэффициенты α_1 и α_2 зависят от тока, то управляя током, протекающим через один из эмиттерных переходов, можно перевести прибор в проводящее состояние. Добавление управляющего тока к току, протекающему через структуру, приводит к дополнительному увеличению одного из коэффициентов передачи α_1 или α_2 в зависимости от того, по какой базе происходит управление. Дальнейшая работа триодного тиристора аналогична работе четырехслойной структуры, рассмотренной в 16.1.

Характеристики триодных тиристорov

Вольт-амперная характеристика триодного тиристора, снятая при нулевом токе управляющего электрода, подобна характеристике диодного тиристора (рис. 17.2). Рост тока управляющего элек-

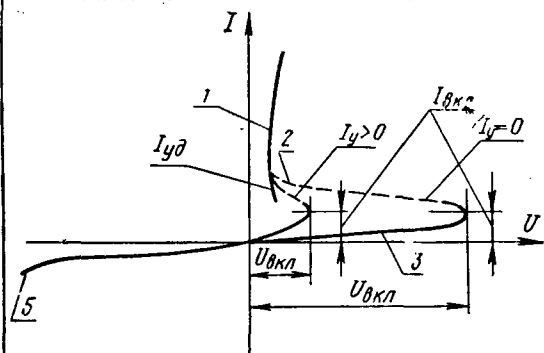


Рис. 17.2. Вольт-амперная характеристика триодного тиристора:

1 — открытое состояние; 2 — участок отрицательного дифференциального сопротивления; 3 — закрытое состояние; 4 — непроводящее состояние в обратном направлении; 5 — пробой в обратном направлении

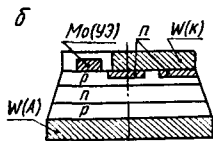
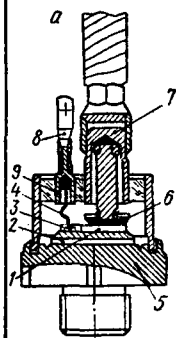


Рис. 17.4. Триодные тиристоры большой мощности:

а — конструкция силовых тиристоров и симисторов серий Т и ТС; б — структурная схема вентильного элемента

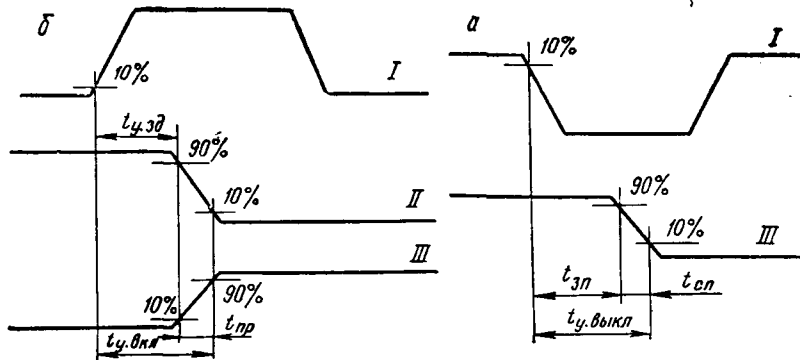


Рис. 17.3. Характеристики тиристора:

а — выключения; б — включения; I — импульс на управляющем электроде, вызывающий включение (выключение) тиристора; II — амплитуда основного напряжения; III — амплитуда основного тока

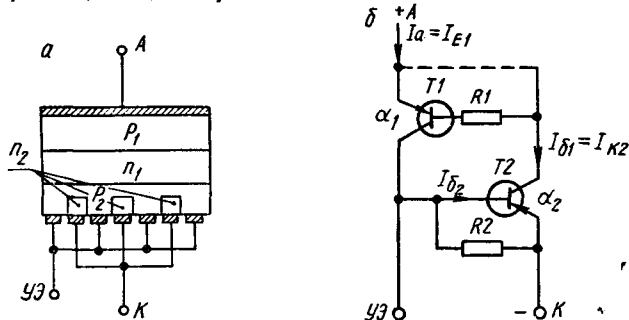


Рис. 17.5. Запираемый тиристор:

а — структурная схема; б — схема замещения

града приводит к смещению вольт-амперной характеристики в сторону меньших значений напряжения включения и тока удержания. При достаточно большом токе управляющего электрода, называемом током спрямления, вольт-амперная характеристика триодного тиристора вырождается в характеристику обычного диода, теряя тем самым участок отрицательного сопротивления.

Характеристики включения и выключения тиристора показаны на рис. 17.3.

Типы и параметры триодных тиристоров

Промышленность выпускает триодные тиристоры *малой мощности* типа КУ101 и КУ103, предназначенные для работы в импульсных и переключающих схемах. По внешнему виду они не отличаются от транзисторов малой мощности. На их корпусе катод обозначен цветной точкой.

Тиристоры *средней мощности* типов КУ201, КУ202... КУ210, Д235 и Д 238 предназначены для схем управляемых выпрямителей и переключающих схем устройств автоматики.

Электрические параметры триодных тиристоров малой и средней мощности приведены в табл. 17.2 и 17.3.

Промышленностью выпускаются следующие типы тиристоров *большой мощности* серий Т, ТВ, ТЛ и ТЛВ:

Тиристоры с паяными контактами — тиристоры, у которых электрический и тепловой контакт $p-n-p-n$ -структуры с анодным и катодным выводами осуществлен пайкой.

Тиристоры с прижимными контактами — тиристоры, у которых электрический и тепловой контакт $p-n-p-n$ -структуры с анодным и (или) катодным выводами осуществлен механическим усилием сжатия.

Тиристоры штыревой конструкции — тиристоры, у которых анодный или катодный выводы выполнены в виде шпильки с резьбой для присоединения к охладителю.

Тиристоры таблеточной конструкции — тиристоры, у которых корпус со стороны анодного и катодного выводов ограничен плоскими поверхностями, предназначенными для присоединения к охладителю. Основным назначением их является выпрямление переменного тока частотой 50...500 Гц.

Тиристоры с принудительным воздушным охлаждением имеют съемный медный или силуминовый радиатор, а *тиристоры с водяным охлаждением* — съемный резервуар для охлаждающей воды.

Тиристоры, выполняемые по диффузионной технологии, образуются посредством диффузии примесей (бора, алюминия и фосфора) в монокристаллическую пластину электронного кремния. Для обеспечения механической прочности и устранения усталостных напряжений монокристаллическая структура кремния припаявается при помощи специальных припоев к термокомпенсирующим вольфрам-молибденовым пластинам 1 и 2 (рис. 17.4). Верхняя вольфрамовая

Табл. 17.2. Параметры триодных тиристоров малой мощности

Тип тиристора	$I_{откр. макс. мА}$	$U_{пр. зкр макс}$ ($U_{пр. зкр н. макс}$), В	$I_{зкр. мА}$	$I_{обр. мА}$	$I_{у, от (I_{у, от. н})}$, мА	$U_{откр. В}$	$U_{у, от (U_{у, от. н})}$, В	$I_{уд. мА}$	$t_{нкл. мкс}$	$t_{выкл. мкс}$	$I_{откр н. макс. А}$	$P_{ср. макс. мВт}$	$I_{пр. у. макс. мА}$	$U_{обр. у. макс. В}$	$P_{у, н. макс. Вт}$	$U_{обр. макс. В}$	Диапазон рабочих температур, °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
КУ101А	75	50	0,3	—	0,05...7,5	2,5	0,25...10	0,5...25	2	35	1	150	15	2	0,5	10	-60...+85
2У101А	75	50	0,15	—	0,1...5	2,25	1,5...8	2...25	2	35	1	150	15	2	0,5	10	-60...+120
КУ101Б	75	50	0,3	0,3	0,05...7,5	2,5	0,25...10	0,5...25	2	35	1	150	15	2	0,5	50	-60...+85
2У101Б	75	50	0,15	0,15	0,1...5	2,25	1,5...8	0,5...8	2	35	1	150	15	2	0,5	50	-60...+120
КУ101Г	75	80	0,3	0,3	0,05...7,5	2,5	0,25...10	0,5...25	2	35	1	150	15	2	0,5	80	-60...+85
2У101Г	75	80	0,15	0,15	0,1...5	2,25	0,25...4,5	0,5...8	2	35	1	150	15	2	0,5	80	-60...+120
2У101Д	75	150	0,15	0,15	0,1...5	2,25	1,5...8	2...25	2	35	1	150	15	2	0,5	150	-60...+120
КУ101Е	75	150	0,3	0,3	0,05...7,5	2,5	0,25...10	0,5...25	2	35	1	150	15	2	0,5	150	-60...+85
2У101Е	75	150	0,15	0,15	0,1...5	2,25	0,25...4,5	0,5...8	2	35	1	150	15	2	0,5	150	-60...+120
2У101Ж	75	50	0,15	—	0,1...5	2,25	0,25...4,5	2...25	2	35	1	150	15	2	0,5	10	-60...+120
2У101И	75	50	0,15	0,15	0,1...5	2,25	0,25...4,5	0,5...8	2	35	2	150	15	2	0,5	50	-60...+120
КУ103А	—	(150)	0,3	0,3	—	—	—	—	—	—	0,001	150	40	2	—	150	-40...+85
КУ103В	—	(300)	0,3	0,3	—	—	—	—	—	—	0,001	150	40	2	—	300	-40...+85
2У103В	—	(300)	0,15	0,15	—	3	—	—	—	—	0,001	150	40	2	—	300	-60...+70
2У104А	100	15	0,12	0,065	(15)	2	(2)	20	0,29	2,5	3	200	30	—	—	6	-60...+110
2У104Б	100	30	0,12	0,065	(15)	2	(2)	20	0,29	2,5	3	20	30	—	—	6	-60...+110
2У104В	100	60	0,12	0,065	(15)	2	(2)	20	0,29	2,5	3	20	30	—	—	6	-60...+110
2У104Г	100	100	0,12	0,065	(15)	2	(2)	20	0,29	2,5	3	20	30	—	—	6	-60...+110
2У105А	50	30	0,001	0,003	4	1,1	(2)	10	—	1,5	2	15	—	—	—	15	-60...+125
2У105Б	50	15	0,001	0,003	4	1,1	(2)	10	—	1,5	2	15	—	—	—	5	-60...+125

Продолжение табл. 17.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2У105В	50	30	0,001	0,03	4	1,1	(2)	10	—	1,5	2	15	—	—	—	—	—60...+125
2У105Г	50	15	0,001	0,03	4	1,1	(2)	10	—	1,5	2	15	—	—	—	30	—60...+125
2У105Д	50	30	0,001	—	4	1,1	(2)	10	—	1,5	2	15	—	—	—	5	—60...+125
2У105Е	50	15	0,001	—	4	1,1	(2)	10	—	1,5	2	15	—	—	—	—	—60...+125
2У107А	50	250	—	—	5—10	1,4	0,3...0,8	2,2	1	10	—	75	40	10	—	10	—60...+85
2У107Б	50	250	—	—	5—20	1,4	0,3...0,8	4,5	1	10	—	75	40	10	—	10	—60...+85
2У107В	50	120	—	—	5—20	1,4	0,3...0,8	0,6...2,2	1	10	—	75	40	10	—	10	—60...+85
2У107Г	50	120	—	—	5—20	1,4	0,3...0,8	4,5	1	10	—	75	40	10	—	10	—60...+85
2У107Д	50	50	—	—	5—20	1,4	0,3...0,8	4,5	1	10	—	75	40	10	—	10	—60...+85

Примечание. Данные для $U_{откр}$ приведены при следующих значениях $t_{откр}$ в °С: для групп 104, 105 и 107 — 25, 101 — 60; для $I_{уд}$ — при следующих значениях $t_{откр}$ в °С: для групп 104 и 105 — -60, 107 — 25, 101 (широкого применения) — 85, 101 (промышленного применения) — 120; для $I_{откр}$, и, макс — при $\tau_{и}=10$ мкс для групп 101, 104 и 105. Предельные режимы приведены при $t_{откр}=25^{\circ}\text{C}$.

Табл. 17.3. Параметры триодных тиристоров средней мощности

Тип тиристора	$I_{откр}$, макс, А	$U_{пр}$, зкр, макс ($U_{пр}$, зкр, н, макс), В	$I_{зкр}$, мА	$I_{обр}$, мА	$I_{у, от}$ ($I_{у, от, н}$), мА	$U_{откр}$, В	$U_{у, от}$ ($U_{у, от, н}$), В	$I_{уд}$, мА	$I_{вкл}$ ($I_{зд}$), мкс	$I_{выкл}$, мкс	$I_{откр}$, н, макс, А	$P_{ср}$, макс, Вт	$I_{пр}$, у, макс ($I_{пр}$, у, н, макс), мА	$I_{обр}$, у, макс, мА	$U_{пр}$, у, макс ($U_{пр}$, у, н, макс), В	$U_{обр}$, у, макс, В	$U_{обр}$, макс ($U_{обр}$, н, макс), В	Диапазон рабочих температур ($t_{кор}$), °С
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Д235А	2	40	2	—	50	2	—	—	5	35	10	4	150 (350)	—	—	1	—	—60...(+100)
Д235Б	2	80	2	—	50	2	—	—	5	35	10	4	150 (350)	—	—	1	—	—60...(+110)
Д235В	2	40	2	2	50	2	—	—	5	35	10	4	150 (350)	—	—	1	—	—60...(+100)
Д235Г	2	80	2	2	50	2	—	—	5	35	10	4	150 (350)	—	—	1	—	—60...(+110)
Д238А	10	50	20	—	(150)	2	(8)	—	10	35	100	20	350	—	—	—	—	—55...(+100)
Д238Б	10	100	20	—	(150)	2	(8)	—	10	35	100	20	350	—	—	—	—	—55...(+100)
Д238В	10	150	20	—	(150)	2	(8)	—	10	35	100	20	350	—	—	—	—	—55...(+100)
Д238Г	10	50	20	20	(150)	2	(8)	—	10	35	100	20	350	—	—	—	50	—55...(+100)
Д238Д	10	100	20	20	(150)	2	(8)	—	10	35	100	20	350	—	—	—	100	—55...(+100)
Д238Е	10	150	20	20	(150)	2	(8)	—	10	35	100	20	350	—	—	—	150	—60...(+100)
КУ201А	2	25	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+85)
2У201А	2	(25)	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+110)
КУ201Б	2	25	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+85)
2У201Б	2	(25)	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	(25)	—60...(+110)
КУ201В	2	50	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+85)
2У201В	2	(50)	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+110)
КУ201Г	2	50	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	50	—60...(+85)
2У201Г	2	(50)	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	(50)	—60...(+110)
КУ201Д	2	100	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+85)
2У201Д	2	(100)	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+110)
КУ201Е	2	100	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	100	—60...(+85)
2У201Е	2	(100)	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	(100)	—60...(+110)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
КУ201Ж	2	200	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+85)
2У201Ж	2	(200)	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+110)
КУ201И	2	200	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	200	—60...(+85)
2У201И	2	(200)	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	(200)	—60...(+110)
КУ201К	2	300	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+85)
2У201К	2	(300)	5	—	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	—	—60...(+110)
КУ201Л	2	300	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	300	—60...(+85)
2У201Л	2	(300)	5	5	100	2	6	100	10	100	10	4	200 (350)	5	10	—	(300)	—60...(+110)
КУ202А	10	25	10	—	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	—	—60...(+85)
КУ202Б	10	25	10	10	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	25	—60...(+85)
КУ202В	10	50	10	—	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	—	—60...(+85)
КУ202Г	10	50	10	10	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	50	—60...(+85)
КУ202Д	10	100	10	—	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	—	—60...(+85)
2У202Д	10	100	10	—	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	—	—	—60...(+85)
КУ202Е	10	100	10	10	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	100	—60...(+85)
2У202Е	10	100	10	10	200	1,5	7	300	10	150	30	10	300 (500)	5	10	10	100	—60...(+110)
КУ202Ж	10	200	10	—	100	2	5	300	10	—	30	20	2000	5	10	—	—	—60...(+85)
2У202Ж	10	200	10	—	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	10	—	—60...(+110)
КУ202И	10	200	10	10	100	2	5	300	10	150	30	20	(2000)	5	10	—	200	—60...(+85)
2У202И	10	200	10	10	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	10	200	—60...(+110)
КУ202К	10	300	10	—	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	—	—60...(+85)
2У202К	10	300	10	—	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	10	—	—60...(+110)
КУ202Л	10	300	10	10	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	300	—60...(+85)
2У202Л	10	300	10	10	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	10	300	—60...(+110)
КУ202М	10	400	10	—	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	—	—60...(+85)
2У202М	10	400	10	—	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	10	—	—60...(+110)
КУ202Н	10	400	10	10	100	2	5	300	10	150	30	20	2000	5	10	—	400	—60...(+85)
2У202Н	10	400	10	10	200	1,5	7	300	10	150	30	20	300 (500)	5	10	10	400	—60...(+110)
2У203А	10	50	10	—	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	—	—60...(+120)
2У203Б	10	100	10	—	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	—	—60...(+120)
2У203В	10	150	10	—	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	—	—60...(+120)
2У203Г	10	200	10	—	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	—	—60...(+120)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2У203Д	10	50	10	20	(450)	3	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	50	—60...(+120)
2У203Е	10	100	10	20	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	100	—60...(+120)
2У203Ж	10	150	10	20	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	150	—60...(+120)
2У203И	10	200	10	20	(450)	2	(5)	—	3	7	100	20	350 (1200)	—	(10)	1	200	—60...(+120)
2У205А	2	400	5	5	150	4	3	—	(0,45)	45	—	—	2000	—	—	1	100	—60...+100
2У205Б	2	600	5	5	150	4	3	—	(0,35)	30	—	—	2000	—	—	1	100	—60...+100
2У205В	2	800	5	5	150	4	3	—	(0,25)	30	—	—	2000	—	—	1	100	—60...+100
2У205Г	2	800	5	5	150	4	3	—	(0,25)	30	—	—	2000	—	—	1	800	—60...+100
2У207А	10	100	5	—	(300)	2,5	(10)	—	—	—	100	20	(2000)	—	—	1	—	—60...+110
2У207Б	10	100	5	5	(300)	2,5	(10)	—	—	—	100	20	(2000)	—	—	1	100	—60...+110
2У207В	10	200	5	5	(300)	2,5	(10)	—	—	—	100	20	(2000)	—	—	1	—	—60...+110
2У207Г	10	200	5	5	(300)	2,5	(10)	—	—	—	100	20	(2000)	—	—	1	200	—60...+110
2У207Д	10	300	5	—	(300)	2,5	(10)	—	—	—	100	20	(2000)	—	—	1	—	—60...+110
2У207Е	10	300	5	5	(300)	2,5	(10)	—	—	—	100	20	(2000)	—	—	1	300	—60...+110
КУ210А	—	400	5	5	—	—	—	—	—	—	2000	—	7000	—	(40)	2	400	—60...+70
КУ210Б	—	500	5	5	—	—	—	—	—	—	2000	—	7000	—	(40)	2	500	—60...+70
КУ210В	—	600	5	5	—	—	—	—	—	—	2000	—	7000	—	(40)	2	600	—60...+70
2У211А	20	800	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	5(50)	2	800	—60...+60
2У211Б	20	800	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	8(50)	2	800	—60...+60
2У211В	20	800	4	4	—	—	—	—	—	50	200	—	(5000)	—	8(50)	2	800	—60...+60
2У211Г	20	800	4	4	—	—	—	—	—	100	200	—	(5000)	—	8(50)	2	800	—60...+60
2У211Д	20	700	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	5(50)	2	700	—60...+60
2У211Е	20	700	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	8(50)	2	700	—60...+60
2У211Ж	20	700	4	4	—	—	—	—	—	50	200	—	(5000)	—	8(50)	2	700	—60...+60
2У211И	20	700	4	4	—	—	—	—	—	100	200	—	(5000)	—	8(50)	2	700	—60...+60
2У211К	20	600	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	5(50)	2	600	—60...+60
2У211Л	20	600	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	8(50)	2	600	—60...+60
2У211М	20	600	4	4	—	—	—	—	—	50	200	—	(5000)	—	8(50)	2	600	—60...+60
2У211Н	20	600	4	4	—	—	—	—	—	100	200	—	(5000)	—	8(50)	2	600	—60...+60
2У211О	20	500	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	5(50)	2	500	—60...+60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2У211П	20	500	4	4	—	—	—	—	—	25	200	—	(5000)	—	8(50)	2	500	—60...+60
2У211Р	20	500	4	4	—	—	—	—	—	50	200	—	(5000)	—	8(50)	2	500	—60...+60
2У211С	20	500	4	4	—	—	—	—	—	100	200	—	(5000)	—	8(50)	2	500	—60...+60

Примечание. Данные для $U_{откр}$ приведены при $t_{откр} = (20-25)^\circ\text{C}$ (для тиристоров групп 205 — при -60°C); для $I_{уд}$ — при $t_{откр} = -60^\circ\text{C}$ для групп 201 и 202 (для остальных групп температура не нормируется); для $I_{откр}$, $I_{макс}$ — при $\tau_{и} = 10$ мс (для групп Д235, 201 и 202), $\tau_{и} = 0,05$ мс (для групп Д238, 203 и 207) и $\tau_{и} = 0,02$ мс для группы 210 (для остальных групп $\tau_{и}$ не нормируется).

пластина имеет вырез, в котором помещается молибденовая пластина 3 для внутреннего вывода управляющего электрода (УЭ) 4, выполненного из тонкой медной проволоки. Полученный вентильный элемент (рис. 17.4, б) (вольфрам — монокристаллическая структура — вольфрам) припаивается с одной стороны к массивному шестигранному медному основанию 5, а с другой стороны посредством чашечки 6 соединяется гибким внутренним выводом 7 с наружным выводом. Внутренний вывод управляющего электрода 4 также соединяется с внешним выводом 8. Для защиты от внешних механических воздействий и воздействий окружающей среды вентильный элемент монтируется в корпусе и герметизируется.

Триодные тиристоры с контролируемым лавинообразованием для достижения лавинных характеристик в обратном направлении должны иметь геометрию анодного перехода, аналогичную геометрии перехода лавинного неуправляемого вентиля. Конструкция лавинных тиристоров аналогична конструкции нелавинных тиристоров, выполненных по диффузионной технологии. Тиристоры серии ТЛ2 являются тиристорами с лавинообразованием на прямой и обратной ветвях вольт-амперной характеристики. Основным назначением их являются схемы статических преобразователей электроэнергии, а также цепи постоянного и переменного тока частотой до 500 Гц различных силовых установок. Тиристоры серии ТЛ2 заключены в герметичный стеклянно-металлический корпус. Гибкий медный вывод тиристора служит катодом. Анодом тиристоров ТЛ2-100, ТЛ2-150 и ТЛ2-200 является медное основание корпуса, снабженное резьбой для ввинчивания в радиатор, а тиристоры типа ТЛ2-300 — плоское основание.

Триодные тиристоры типов Т2-500, Т2-750 и Т2-1000 предназначены для преобразования переменного тока частотой до 500 Гц в постоянный (выпрямленный) и применяются в различных силовых цепях выпрямительных установок.

Нормальная работа тиристоров обеспечивается при температуре охлаждающей воды от $+5^{\circ}$ до $+80^{\circ}$ С. Предельно допустимая рабочая температура структуры $+125... +140^{\circ}$ С. Токосъем с тиристоров типов Т2-750 и Т2-1000 осуществляется непосредственно от корпуса. У тиристора типа Т2-500 одним из токосъемных контактов является охладитель, а вторым — гибкий вывод.

Монтаж тиристоров должен обеспечивать надежный электрический и тепловой контакт между токосъемными выводами тиристора и подводящими шинами.

Тиристор типа Т6-250 предназначен для применения в статических полупроводниковых преобразователях электрической энергии, а также в цепях постоянного и переменного тока различных силовых установок с частотой до 2000 Гц. Таблеточная конструкция корпуса обеспечивает как одностороннее, так и двустороннее охлаждение; прижимные контактные соединения элементов в конструкции обеспечивают высокие удельные показатели по проходящей мощности, высокие ударные токи, циклостойкость, малое время выключения.

Табл. 17.4. Параметры силовых тиристоров

Тип тиристора	Предельный ток, А	Температура корпуса, °С	Неповторяющееся напряжение, В	Повторяющееся напряжение, В	Напряжение лавинообразования, В	Прямое падение напряжения при амплитудном значении предельного тока, В не более
T10	10,0	85	60...2900	50...2600	—	1,85
T12	12,5	85	60...2900	50...2600	—	—
T16	16,0	85	60...2900	50...2600	—	—
T20	20,0	85	60...2900	50...2600	—	—
T25	25,0	85	60...2900	50...2600	—	1,90
T40	40,0	85	60...2900	50...2600	—	—
T50	50,0	85	60...2900	50...2600	—	1,75
T63	63,0	85	60...2900	50...2600	—	—
T80	80,0	85	60...2900	50...2600	—	—
T100	100	85	60...2900	50...2600	—	1,95
ТЛ100	100	95	—	300...1500	360...1800	2,30
T125	125	85	60...2900	50...2600	—	—
T160	160	85	60...2900	50...2600	—	1,75
ТЛ160	160	95	—	300...1500	360...1800	1,90
T200	200	85	60...2900	50...2600	—	1,85
ТЛ200	200	85	—	300...1500	360...1800	1,60
ТВ200	200	55	60...2900	50...2600	—	1,80
ТЛВ200	200	65	—	300...1500	360...1800	1,90
T250	250	85	60...2900	50...2600	—	1,85
ТЛ250	250	85	—	300...1500	360...1800	1,80
T320	320	—	—	1200	—	—
ТВ320	320	55	60...2900	50...2600	—	1,85
ТЛВ320	320	65	—	300...1500	360...1800	1,85
ТВ400	400	45	—	300...1000	—	3,00
ТВ500	500	55	—	100...1200	—	2,70
T630	630	—	—	—	—	—
ТВ630	630	55	—	100...1200	—	2,50
T800	800	—	—	—	—	—
ТВ800	800	55	—	100...1200	—	2,50
T1000	1000	—	—	—	—	—
ТВ1000	1000	—	—	—	—	—
T250 ¹	250	85	60...2460	50...2200	—	2,30
T320 ¹	320	85	60...1800	50...1600	—	2,10
T400 ¹	400	85	60...1800	50...1600	—	2,10
T500 ¹	500	85	60...1800	50...1600	—	2,10

¹ Тиристоры таблеточной конструкции.

Электрические параметры тиристоров большой мощности (силовых тиристоров) приведены в табл. 17.4. Амплитудные значения обратного тока и тока утечки в зависимости от класса тиристора при повторяющемся напряжении и максимально допустимой температуре $p-n-p$ -структуры приведены в табл. 17.5. Значения отпирающего и неотпирающего напряжения и отпирающего тока управления тиристоров приведены в табл. 17.6. Значения ударного

Табл. 17.5. Амплитудные значения обратного тока и тока утечки в зависимости от класса тиристора при повторяющемся напряжении и максимально допустимой температуре $p-n-p-n$ -структуры

Тип тиристора	Обратный ток и ток утечки для классов 0,5...12, мА	Тип тиристора	Обратный ток и ток утечки для классов 0,5...12, мА
T10	10	TB200, TB630	40
T25	30	TJLB200	40
T50	30; 18	T250	40; 30 ¹
T100, TB400	30	TJL250	40
TJL100	40	TB320, TB500	40
T160	40; 20	TJLB320	40
TJL160	40; 30	T320	40 ¹
T200	40	T400	50 ¹
TJL200, TB800	40; 30	T500	50 ¹

¹ Для тиристорov таблеточной конструкции всех классов.

Табл. 17.6. Значения отпирающего и неотпирающего напряжения и отпирающего тока управления тиристорov

Параметры	Температура окружающей среды, °C	Типы приборов				
		T10, T25	T50, T100, TJL160, T200, TJLB200 TJL100	T160, TB200	T250, TJL250, TB320, TJLB320	T320 ¹ , T400 ¹ , T500 ¹
Отпирающий ток управления, А, не более	25	0,20	0,30	0,30	0,40	0,40
Отпирающее напряжение управления, В, не более	25	5,50	7,00	7,00	8,00	8,0
Неотпирающее напряжение управления, В, не менее	125	0,25	0,25	0,10	0,25	0,3

¹ Тиристоры таблеточной конструкции.

тока и $\int i^2 dt$ для 10 мс при максимально допустимой температуре структуры без последующего приложения напряжения приведены в табл. 17.7.

Данные соответствия токовых параметров тиристорov, выпускавшихся по ГОСТ 14069—68 (тиристоры Т и ТВ) и техническим условиям (тиристоры Т и TJL), и тиристорov, выпускаемых по ГОСТ 14069—72, приведены в табл. 17.8. Данные соответствия классов по напряжению тиристорov, выпускавшихся по ГОСТ 14069—68, и тиристорov, выпускаемых по ГОСТ 14069—72, приведены в табл. 17.9.

Табл. 17.7. Значения ударного тока при максимально допустимой температуре структуры

Тип тиристора	Ударный ток, А	$\int i^2 dt$, А ² ·с	Тип тиристора	Ударный ток, А	$\int i^2 dt$, А ² ·с
T10	200	200	ТЛ200	2500; 4000 ¹	31500; 80000 ¹
T25	500	1250	ТВ200	3500	61500
T50	1400; 1500 ¹	9800; 11000 ¹	ТЛВ200	2500	31500
T100	2000	20000	T250	4000; 5000 ²	83000; 125000 ²
ТЛ100	1500	11000	ТЛ250	4000	80000
T160	3000; 3300 ¹	45000; 54450 ¹	ТВ320	4500	101250
ТЛ160	2000; 3500 ¹	20000; 61500 ¹	ТЛВ320	4400	96800
T200	3500	61500			
ТВ400			T320	5000 ²	125000 ²
ТВ500	5000	125000	T400	7000 ²	245000 ²
ТВ630			T500	7000 ²	245000 ²
ТВ890	7000	245000			

¹ Значения ударного тока и $\int i^2 dt$ для тиристоров, которым присвоен государственный Знак качества;

² Для тиристоров таблеточной конструкции.

Табл. 17.8. Соответствие классов по напряжению тиристоров типов Т и ТВ, выпускавшихся по ГОСТ 14069—68, и тиристоров, выпускаемых по ГОСТ 14069—72

ГОСТ 14069—68		ГОСТ 14069—72		
Класс тиристора	Номинальное напряжение, В	Класс тиристора	Повторяющееся напряжение, В	Рекомендуемое рабочее напряжение, В
0,5	50	0,5	50	40
1	100	1	100	80
1,5	150	1,5	150	120
2	200	2	200	160
2,5	250	2,5	250	200
3	300	3	300	240
4	400	4	400	320
5	500	5	500	400
6	600	6	600	480
7	700	7	700	560
8	800	8	800	640
9	900	9	900	720
10	1000	10	1000	800
		11	1100	880
		12	1200	960
		13	1300	1040
		14	1400	1120
		16	1600	1280
		18	1800	1440
		20	2000	1600
		22	2200	1760
		24	2400	1920
		26	2600	2080

Табл. 17.9. Соответствие токовых параметров тиристоров, выпускавшихся по ГОСТ 14069—68 (тиристоры Т и ТВ) и техническим условиям (тиристоры Т и ТЛ), и тиристоров, выпускаемых по ГОСТ 14069—72

ГОСТ 14069—68 и ТУ					ГОСТ 14069—72			
Тип прибора	Номинальный ток, А	Группа	Прямое падение напряжения (среднее значение), В	Внутреннее установленное тепловое сопротивление, °С/Вт	Тип прибора	Предельный ток, А	Температура корпуса, °С	Прямое падение напряжения (амплитудное значение), В
1	2	3	4	5	6	7	8	9
T10	10	A	До 0,65	2,50	T10	10	85	До 1,50
T10	10	B	Св. 0,65 до 0,75	2,50	T10	10	85	Св. 1,50 до 1,70
T10	10	B	Св. 0,75 до 0,80	2,50	T10	10	85	Св. 1,70 до 1,85
T25	25	A	До 0,65	1,2	T25	25	85	До 1,40
T25	25	B	Св. 0,65 до 0,75	1,0	T25	25	85	Св. 1,40 до 1,70
T25	25	B	Св. 0,75 до 0,85	0,75	T25	25	85	Св. 1,70 до 1,90
T50	50	A	До 0,75	0,50	T50	50	85	До 1,40
T50	50	B	Св. 0,65 до 0,75	0,50	T50	50	85	Св. 1,40 до 1,70
T50	50	B	Св. 0,75 до 0,77	0,50	T50	50	85	Св. 1,70 до 1,75
T100	100	A	До 0,65	0,21	T100	100	85	До 1,45
T100	100	B	Св. 0,65 до 0,75	0,21	T100	100	85	Св. 1,45 до 1,70
T100	100	B	Св. 0,75 до 0,85	0,21	T100	100	85	Св. 1,70 до 1,95
T150	150	A	До 0,56	0,21	T160	160	85	До 1,20
T150	150	A	Св. 0,56 до 0,65	0,15	T160	160	85	Св. 1,20 до 1,45
T150	150	B	Св. 0,65 до 0,75	0,15	T160	160	85	Св. 1,45 до 1,75
T200	200	A	До 0,65	0,12	T200	200	85	До 1,65
T200	200	B	Св. 0,65 до 0,75	0,12	T200	200	85	Св. 1,65 до 1,75
T200	200	B	Св. 0,75 до 0,79	0,12	T200	200	85	Св. 1,75 до 1,85
TB200	200	A	До 0,65	0,21	TB200	200	55	До 1,45
TB200	200	B	Св. 0,65 до 0,75	0,21	TB200	200	55	Св. 1,45 до 1,70
TB200	200	B	Св. 0,75 до 0,80	0,21	TB200	200	55	Св. 1,70 до 1,80
T250	250	A	До 0,65	0,105	T250	250	85	До 1,65
T250	250	B	Св. 0,65 до 0,75	0,105	T250	250	85	Св. 1,65 до 1,85
TB320	320	A	До 0,65	0,13	TB320	320	55	До 1,65

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТВ320	320	Б	Св. 0,65 до 0,75	0,13	ТВ320	320	55	Св. 1,65 до 1,75
ТВ320	320	В	Св. 0,75 до 0,80	0,13	ТВ320	320	55	Св. 1,75 до 1,85
ТЛ100	100	Б	Св. 0,65 до 0,75	0,18	ТЛ100	100	95	Св. 1,30 до 1,40
ТЛ100	100	В	Св. 0,75 до 0,90	0,18	ТЛ100	100	95	Св. 1,40 до 1,90
ТЛ100	100	Г	Св. 0,90 до 1,05	0,18	ТЛ100	100	95	Св. 1,90 до 2,30
ТЛ160	160	А	До 0,65	0,18	ТЛ160	160	95	До 1,40
ТЛ160	160	Б	Св. 0,65 до 0,75	0,18	ТЛ160	160	95	Св. 1,40 до 1,60
ТЛ200	200	А	До 0,65	0,18	ТЛ200	200	85	До 1,50
ТЛ200	200	Б	Св. 0,65 до 0,70	0,18	ТЛ200	200	85	Св. 1,50 до 1,60
ТЛВ200	200	А	До 0,65	0,2	ТЛВ200	200	65	До 1,50
ТЛВ200	200	Б	Св. 0,65 до 0,75	0,2	ТЛВ200	200	65	Св. 1,50 до 1,65
ТЛВ200	200	В	Св. 0,75 до 0,90	0,2	ТЛВ200	200	65	Св. 1,65 до 1,90
ТЛ250	250	А	До 0,65	0,13	ТЛ250	250	85	До 1,40
ТЛ250	250	Б	Св. 0,65 до 0,75	0,13	ТЛ250	250	85	Св. 1,40 до 1,60
ТЛ250	250	В	Св. 0,75 до 0,82	0,13	ТЛ250	250	85	Св. 1,60 до 1,80
ТЛВ320	320	А	До 0,65	0,13	ТЛВ320	320	65	До 1,40
ТЛВ320	320	Б	Св. 0,65 до 0,75	0,13	ТЛВ320	320	65	Св. 1,40 до 1,60
ТЛВ320	320	В	Св. 0,75 до 0,87	0,13	ТЛВ320	320	65	Св. 1,60 до 1,85

Электрические параметры различных типов триодных тиристор-
ров, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в
табл. 17.10.

17.3. Запираемые триодные тиристоры

В отличие от триодных тиристоров *запираемые тиристоры* спо-
собны переключаться из открытого состояния в закрытое при по-
мощи сигнала положительной (для отпираания) или отрицатель-
ной (для запираания) полярности на управляющем электроде. Для
запираания тиристора необходимо с помощью отрицательного тока
управления предварительно избавиться от носителей заряда, нако-
пившихся в базах составляющих транзисторов. Однако для тири-
сторов большой мощности, структура которых имеет большую пло-
щадь, эффект рассасывания наблюдается только в узкой зоне
вблизи управляющего электрода. Поэтому структуру запираемого
тиристора выполняют так, чтобы регулировать эффективность ин-
жекции с катодного перехода по всей площади структуры. Это до-

Табл. 17. 10. Параметры триодных тиристоров

Термины параметров	T2-200	T2-250	T2-320	T2-500	T2-750	T2-1000	T3-160	T3-320	T6-200	T6-250	TB7-320	T9-100	T9-160	T9-200	T9-250
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Предельный ток, А	200	250	320	500	750	1000	160	320	200	250	320	100	160	200	250
Температура корпуса, °С	—	—	85	—	—	—	—	75	70	70	45	85	85	85	85
Повторяющееся напряжение, В	125...1500	125...1500	160...1400	—	—	—	650...2210	1600...2400	300...1000	300...1600	300...1000	400...2200	400...2200	400...2200	400...1200
Прямое падение напряжения, В, не более	0,85	0,75	2,50	—	—	—	0,85	2,36	2,30	2,20	3,00	1,95 (4...12кл) (13...22кл)	1,75 (4...12кл) (13...22кл)	1,85 (4...12кл) (13...22кл)	—
Обратный ток и ток утечки, мА не более	15	15	35	10	10	10	15	40	30	30	30	30	30	30	30
Ток управления, мА, не более	—	400	400	800	550	550	400	400	400	400	400	200	300	300	300
Напряжение управления, В, не более	7	7	6	5,5	6,5	6,5	7	7	5	5	5	5	5	5	5
Время включения, мкс, не более	15	15	30	8...15	8...15	8...15	15	25	7	7	7	30	30	30	30
Время выключения, мкс:	200	200	—	200	200	200	200	—	—	—	—	—	—	—	—
группа 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» 1	—	—	250	—	—	—	—	250	—	—	—	250	250	250	250
» 2	—	—	150	—	—	—	—	—	—	—	—	150	150	150	150
» 3	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» 5	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50	50	—	—	—	—

Продолжение табл. 17.10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
» 6	—	—	—	—	—	—	—	—	30	30	30	—	—	—	—
» 7	—	—	—	—	—	—	—	—	20	20	20	—	—	—	—
» 8	—	—	—	—	—	—	—	—	15	15	15	—	—	—	—
» 9	—	—	—	—	—	—	—	—	12	12	12	—	—	—	—
Ударный ток, А	4500	5000	7500	—	—	—	2400	6500	5000			4000	4500	5000	5500
Значение $\int i^2 dt$, А ² ·с	—	—	281200	—	—	—	—	211250	125000			3000 (с 13 по 22 кл) 80000	4000 101250	4500 125000	
Критическая скорость на- растания пря- мого напряже- ния, В/мкс, не менее	100	100	—	10	10	10	1000	—	—	—	—	45000	80000 (с 13 по 22 кл)	101250	150000
группа 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	не нормируется			
» 1	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	20	20	20	20
» 2	—	—	50	—	—	—	—	—	50	50	50	50	50	50	
» 3	—	—	100	—	—	—	—	—	100	100	100	100	100	100	200
» 4	—	—	200	—	—	—	—	200	200	200	200	200	200	200	
» 5	—	—	500	—	—	—	—	500	500	500	500	500	500	500	500
» 6	—	—	1000	—	—	—	—	1000	—	—	—	—	—	—	
Критическая скорость нара- стания прямо- го тока, А/мкс, не менее	50	50... 75	—	10	10	10	30	—	—	—	—	не нормируется			20
группа 0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	не нормируется			
» 1	—	—	—	—	—	—	—	20	—	—	—	20	20	20	20
» 2	—	—	40	—	—	—	—	40	30	40	40	40	40	40	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
группа 3			70					—	70	70	70	70	70	70	70
» 4			100					—	100	100	100	—	—	—	—
» 5			200					—	200	200	200	—	—	—	—
Максимально допустимая температура структуры, °C	—	—	125	—	—	—	—	110	110	110	110	125	125	125	125

стигается выполнением управляющего электрода, распределенным по всей площади структуры.

Структура запираемого тиристора аналогична структуре триодного тиристора (рис. 17.5,а). Принцип действия запираемого тиристора рассмотрим с помощью схемы замещения, показанной на рис. 17.5,б. Для учета нелинейной зависимости коэффициентов передачи тока составляющих транзисторов α эмиттерные переходы шунтируют резисторами R_1 и R_2 . Когда тиристор отперт (оба транзистора находятся в состоянии насыщения), ток, протекающий через переход 2, определяется выражением

$$I = \frac{I_{KO} + \alpha_2 I_y}{1 - \alpha_1 - \alpha_2}.$$

При появлении в цепи управления отрицательного тока I_3 ток базы транзистора $p-n-p$ становится равным $I_{B1} = \alpha_1 I_{Э1} - I_3$. Этот транзистор можно вывести из состояния насыщения при условии

$$\alpha_1 I_{Э1} - I_3 < (1 - \alpha_2) I_{Э2}.$$

Учитывая, что $I_{Э1} = I_{Э2} + I_3 = I_a$, можно записать $I_a(\alpha_1 + \alpha_2 - 1) < < \alpha_2 \cdot I_3$.

Способность тиристора к запиранию по управляющему электроду характеризуется коэффициентом запирания.

$$K_3 = \frac{I_a}{I_3} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 - 1},$$

где I_a — значение анодного тока, при котором происходит запирание тиристора. Значения коэффициентов передачи тока отечественных запираемых тиристорov составляют: $\alpha_1 \approx 0,9$; $\alpha_2 \approx 0,1$.

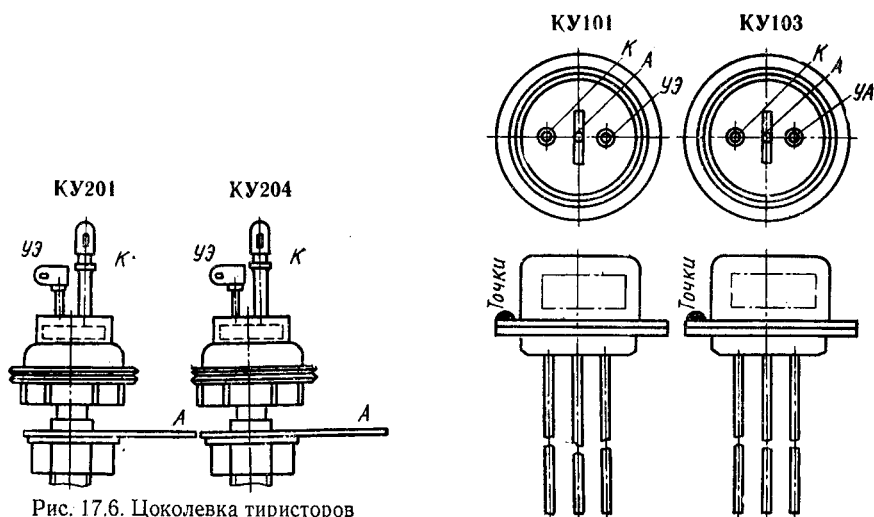


Рис. 17.6. Цоколевка тиристорov

Запираемый тиристор, как и любой полупроводниковый прибор, чувствителен к изменениям температуры. С увеличением температуры увеличивается коэффициент $K_{\text{зап}}$ вследствие увеличения коэффициентов передачи тока составляющих транзисторов.

Запираемые тиристоры предназначены для коммутации в цепях однополярного тока в радиоэлектронной и электротехнической аппаратуре широкого применения.

Электрические параметры запираемых тиристоров малой и средней мощности приведены в табл. 17.11 и 17.12, цоколевка показана на рис 17.6.

Табл. 17.11. Параметры запираемых триодных тиристоров малой мощности

Буквенное обозначение параметра	2У102А	2У102Б	2У102В	2У102Г
$I_{\text{з, макс}}$, мА	50	50	50	50
$U_{\text{пр. зкр. макс}}$, В	50	100	150	200
$I_{\text{зкр}}$, мА	0,1	0,1	0,1	0,1
$I_{\text{у, з, н}}$, мА	20	20	20	20
$I_{\text{у, от, н}}$, мА	20	20	20	20
$I_{\text{у, неот, н}} (I_{\text{у, н, з, н}})$, мА	0,2(0,5)	0,2(0,5)	0,2(0,5)	0,2(0,5)
$I_{\text{уд}}$, мА	20	20	20	20
$U_{\text{у, з, н}} (U_{\text{откр}})$, В	12(2,5)	12(2,5)	12(2,5)	12(2,5)
$U_{\text{у, неот, н}} (U_{\text{у, н, з, н}})$, В	0,2(0,2)	0,2(0,2)	0,2(0,2)	0,2(0,2)
$t_{\text{вкл}} (t_{\text{зп}})$, мкс	5(20)	5(20)	5(20)	5(20)
$I_{\text{у, з, н, макс}}$				
$(I_{\text{откр, н, макс}})$, А	20(5)	20(5)	20(5)	20(5)
$I_{\text{у, от, н, макс}}$, мА	100	100	100	100
$U_{\text{обр, макс}}$, В	5	5	5	5
$U_{\text{у, з, н, макс}}$, В	20	20	20	20
$\left \frac{dU_{\text{зкр}}}{dt} \right _{\text{макс}}$, В/мкс	200	200	200	200
$P_{\text{ср, макс}}$, мВт	160	160	160	160
$P_{\text{у, н, макс}}$, Вт	1	1	1	1
Диапазон рабочих температур, °С	-60... +110	-60... +110	-60... +110	-60... +110
$U_{\text{у, от, н}}$, В	7	7	7	7

Примечание. Данные для $I_{\text{у, з, н}}$ приведены при $\tau_{\text{н}} = 20$ мкс; для $I_{\text{у, от, н}}$ и $U_{\text{у, от, н}}$ — при $\tau_{\text{н}} = 5$ мкс; для $I_{\text{у, неот, н}} (I_{\text{у, н, з, н}})$ — при $\tau_{\text{н}} = 5(20)$ мкс и $t_{\text{о.р}} = 100$ (-60)°С; для $I_{\text{уд}}$ — при $t_{\text{откр}} = -60^\circ\text{С}$.

17.4. Высоочастотные тиристоры

Тиристоры высокой частоты разделяются на импульсные и инверторные. Импульсные тиристоры серии ТИ отличаются от тиристоров общепромышленного назначения меньшей величиной времени включения и выключения, а также тем, что при больших им-

Табл. 17. 12. Параметры запираемых триодных тиристоров средней мощности

Буквенное обозначение параметра	КУ204А	2У204А	КУ204Б	2У204Б	КУ204В	2У204В
$I_{з, \text{макс}}$, А	2	2	2	2	2	2
$U_{\text{пр.зкр.макс}}$, В	50	50	100	100	200	200
$I_{\text{зкр}}$, мА	5	5	5	5	5	5
$I_{у.от.и}$, мА	150	100	150	100	150	100
$I_{у.з.и}$, мА	400	360	400	360	400	360
$I_{у.нз}$, мА	3	3	3	3	3	3
$U_{\text{откр}}$, В	3,2	3	3,2	3	3,2	3
$U_{у.от.и}$, В	5	7	5	7	5	7
$U_{у.з.и}$, В	36	40	36	40	36	40
$C_{\text{общ}}$, пФ	—	500	—	500	—	500
$r_{\text{дин}}$, Ом	—	0,3	—	0,3	—	0,3
$t_{\text{нар}}$, мкс	—	4	—	4	—	4
$t_{\text{сп}} (t_{\text{зп}})$, мкс	(120)	5(120)	(120)	5(120)	(120)	5(120)
$P_{\text{ср.макс}}$, Вт	8	8	8	8	8	8
$I_{\text{откр.макс}}$, А	2	2	2	2	2	2
$I_{\text{откр.мин}}$, А	1	1	1	1	1	1
$I_{\text{пр.у.и.макс}}$, А	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$U_{у.з.макс}$, В	—	100	—	100	—	100
$U_{у.нз.макс}$, В	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
$\left \frac{dU_{\text{зкр}}}{dt} \right _{\text{макс}}$, В/мкс	20	20	20	20	20	20
Диапазон рабочих температур, °C ($t_{\text{кор}}$)	—25...+70	—60...(+110)	—25...+70	—60...(+110)	—25...+70	—60...(+110)

Примечание. Параметры для $I_{у.от.и}$ приведены при $\tau_{и} = 10$ мкс; для $I_{у.з.и}$ и $I_{пр.у.и.макс}$ — при $\tau_{и} = 10$ мкс.

пульсах тока допускают повышенные скорости нарастания тока и напряжения. *Инверторные тиристоры* должны иметь специальные характеристики выключения (время выключения и др.).

Высокочастотные тиристоры ТЧ применяются в схемах преобразователей частоты для электропривода, в установках высокочастотного нагрева, ультразвуковых генераторах и т. д. в широком диапазоне резонансных частот от 50 Гц до 20 кГц. Импульсные тиристоры серии ТИ применяются в преобразователях электроэнергии, работающих в импульсных режимах с частотой тока до 10 000 Гц. Высокочастотные *лавинные тиристоры* серии ТЧЛ предназначены для работы в преобразователях электроэнергии постоянного и переменного тока частотой до 25 кГц. Тиристоры ТЧЛ — мощные высоковольтные лавинные приборы, обладающие улучшенными временными характеристиками, что позволяет применять их в инверторных схемах.

Быстродействующие тиристоры серии ТБ применяются в качестве быстродействующих исполнительных элементов инверторных преобразователей, ультразвуковых генераторных устройств и в разработках бесконтактной коммутационной и регулирующей аппаратуры. Тиристоры типов ТБ-160 и ТБ-200 выпускаются в штыревом исполнении, типов ТБ-250 и ТБ-320 — в таблеточном.

Возможны и другие модификации тиристоров: таблеточные тиристоры; тиристоры для вращающихся установок (*роторные тиристоры*, например, типа Т-400) и т. д.

Электрические параметры тиристоров высокой частоты приведены в табл. 17.13, импульсных тиристоров — в табл. 17.14 и 17.15, быстродействующих тиристоров — в табл. 17.16, роторных тиристоров — в табл. 17.17, высокочастотных лавинных — в табл. 17.18, с повышенными динамическими параметрами — в табл. 17.19.

17.5. Симметричные тиристоры

Симметричными называют трехэлектродные тиристоры с пятислойной структурой, обладающие отрицательным сопротивлением на прямой и обратной ветвях вольт-амперной характеристики.

В обозначении симметричных тиристоров (*симисторов*) большой мощности добавляется буква С (например, ТС-10).

Симметричные тиристоры выполняются на основе интегральной пятислойной структуры типа $n-p-n-p-n$, представляющей собой совмещение двух элементарных структур в одном монокристалле (рис. 17.7,а). Четырехслойный аналог такой структуры показан на рис. 17.7,б. Отпирание симисторов производится посредством сигналов управления, запирающие — снятием разности потенциалов между его силовыми электродами или изменением их поляриности. Тиристорный аналог симистора показан на рис. 17.7,в.

В структуре, показанной на рис. 17.7,а, управляющий электрод расположен в центре, а верхние металлические контакты левой и правой частей прибора электрически связаны. Если на электроды симистора СУЭ (силовой управляющий электрод) и СЭ подать на-

пряжение указанной на рисунке полярности, а на УЭ подать положительный относительно электрода СУЭ потенциал, то через переход 5 начнется инжекция электронов. Последние диффундируют ко второму переходу, понижая потенциал области n_2 относительно области p_1 и вызывая тем самым инжекцию дырок из области p_1 в область n_2 . Последние диффундируют к переходу 3, перебрасываются его полем в область p_2 и достигают силового электрода. Вследствие протекания дырочного тока между областями p_2 и n_3

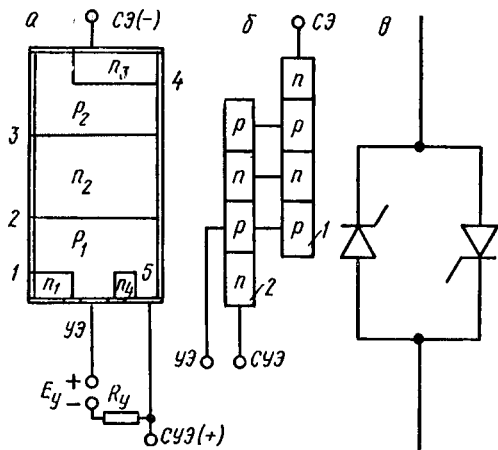


Рис. 17.7. Симистор:

а — структура; б — четырехслойный аналог; в — тиристорный аналог

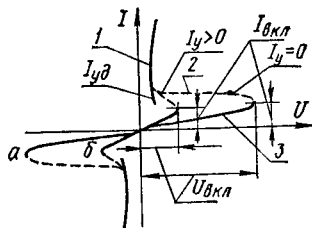


Рис. 17.8. Вольт-амперная характеристика симистора:

1 — открытое состояние; 2 — участок отрицательного дифференциального сопротивления; 3 — закрытое состояние

возникает напряжение, под действием которого возникнет инжекция электронов из области n_3 в область p_2 . Таким образом, создаются предпосылки для перевода правой половины структуры в проводящее состояние.

Если же поменять полярность поданного на силовые электроды напряжения, то структура будет работать аналогично триодному тиристор с зашунтированным эмитерным переходом. В этом случае положительный потенциал на управляющем электроде переключает левую половину структуры в проводящее состояние.

Симисторы обладают симметричной относительно начала координат вольт-амперной характеристикой (рис. 17.8). Как видно из рисунка, прямая ветвь вольт-амперной характеристики симистора ничем не отличается от прямой ветви вольт-амперной характеристики триодного тиристора. Конструкция симисторов аналогична конструкции триодных тиристор.

Симметричные тиристоры средней мощности выполнены по планарно-диффузионной технологии и предназначены для работы в качестве симметричных управляемых ключей средней мощности для схем автоматического регулирования и коммутации цепей силовой автоматики на переменном токе в аппаратуре широкого применения.

Табл. 17.13. Параметры высокочастотных тиристоров

Термины параметров	ТЧ-10	ТЧ-16	ТЧ-25	ТЧ-40	ТЧ-50	ТЧ-63	ТЧ-80
Номинальный ток, А	10	16	25	40	50	63	80
Номинальное напряжение, В	100; 150; 200; 250;	300; 350; 400;	500; 600				
Прямое падение напряжения, В не более	1,4	0,9	0,6	1,5	1,3	1,2	1,0
Ток утечки и обратный ток мА не более	10	10	10	10	10	10	10
Максимально допустимая скорость нарастания прямого тока, А/мкс	100	100	100	100	100	100	100
Максимально допустимая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс	100	100	100	100	100	100	100
Защитный показатель $\int I^2 dt$, А ² ·с	110	140	200	3200	5000	7200	9700
Максимально допустимая амплитуда тока, А	150	170	200	800	1000	1200	1400
Время включения, мкс, не более	6	6	6	6	6	6	6
Время выключения, мкс, не более	15	15	15	15	15	15	15
Отпирающий ток управления, А	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	10	10
Отпирающее напряжение управления, В	2	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5
Вид охлаждения	воздушное естественное			воздушное принудительное			
Скорость охлаждающего воздуха м/с	0			12			

Табл. 17.14. Параметры импульсных триодных тиристоров малой мощности

Тип тиристора	$I_{откр.и. макс.}$, А	$U_{пр.зкр. макс.}$, В	$I_{зкр.}$, мА	$I_{обр.}$, мА	$t_{нар.}$, мкс	$t_{зд.}$, мкс	$I_{выкл.}$, мкс	$C_{общ.}$, пФ	$I_{пр.у.и. мин.}$, А	$I_{у. нест.}$, мА	$U_{зкр. мин.}$, В	$U_{у. нест.}$, В	$U_{обр.у. макс.}$, В	$U_{обр. макс.}$, В	$P_{у.и. макс.}$, Вт	Диапазон рабочих температур (t кор)
2У108А	50	1000	2,5	3	0,1	0,5	15	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108Б	50	1000	2,5	3	0,3	0,5	15	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108В	50	1000	2,5	3	0,1	0,5	35	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108Г	50	1000	2,5	3	0,3	0,5	35	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108Д	50	1000	2,5	3	0,1	0,5	50	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108Е	50	1000	2,5	3	0,3	0,5	50	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108Ж	50	1000	2,5	3	0,1	0,5	100	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108И	50	1000	2,5	3	0,3	0,5	100	500	4,5	10	300	0,1	0,5	500	150	-60...(+80)
2У108К	50	800	2,5	3	0,1	0,5	15	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108Л	50	800	2,5	3	0,3	0,5	15	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108М	50	800	2,5	3	0,1	0,5	35	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108Н	50	800	2,5	3	0,3	0,5	35	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108П	50	800	2,5	3	0,1	0,5	50	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108Р	50	800	2,5	3	0,3	0,5	50	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108С	50	800	2,5	3	0,1	0,5	100	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108Т	50	800	2,5	3	0,3	0,5	100	500	4,5	10	300	0,1	0,5	400	150	-60...(+80)
2У108У	50	600	2,5	3	0,3	0,5	15	500	4,5	10	300	0,1	0,5	300	150	-60...(+80)
2У108Ф	50	600	2,5	3	0,3	0,5	35	500	4,5	10	300	0,1	0,5	300	150	-60...(+80)
2У108Х	50	600	2,5	3	0,3	0,5	50	500	4,5	10	300	0,1	0,5	300	150	-60...(+80)
2У108Ц	50	600	2,5	3	0,3	0,5	100	500	4,5	10	300	0,1	0,5	300	150	-60...(+80)

Табл. 17.15. Параметры импульсных тиристоров большой мощности

Термины параметров	ТИ-600	ТИ-1600	ТИ-3000
Повторяющееся напряжение, В	400...800	400...800	400...800
Номинальный импульсный ток, А, не более	800	1600	3000
Частота повторения импульсов тока, Гц, не более	10000	10000	10000
Номинальное напряжение, В	300...600	300...600	300...600
Обратный ток и ток утечки (среднее значение), мА, не более	5	5	5
Ток управления (амплитудное значение), А, не более	1,5	1,5	1,5
Напряжение управления (амплитудное значение), В, не более	4	4	4
Максимально допустимый ток через управляющий электрод (амплитудное значение), А	5	5	5
Максимально допустимое напряжение на управляющем электроде (амплитудное значение), В	40	40	40
Длительность управляющего импульса при $0,9 U_{упр}$, мкс, не менее	5	5	5
Крутизна фронта управляющего импульса, А/мкс, не менее	2	2	2
Допустимое напряжение помех на управляющем электроде при температуре структуры 110°C (среднее значение), В	0,2	0,2	0,2
Время включения, мкс, не более	3	5	5
Время выключения, мкс, не более:			
типичное значение	10	10	15
предельное значение	20	25	30
Скорость нарастания прямого тока, А/мкс, не более	150	300	500
Скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс, не более	200	200	200
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	от — 50 до + 110		

Табл. 17.16. Параметры быстродействующих тиристоров

Термины параметров	ТБ-100	ТБ-200	ТБ-250	ТБ-320
Предельный ток, А	160	200	250	320
Номинальное напряжение, В, не более	800	800	800	800
Повторяющееся напряжение, В, не более	900	900	900	900
Неповторяющееся напряжение, В, не более	1000	1000	1000	1000
Ударный ток, А	2300...4500	2300...4500	2300...4500	2300...4500
Максимально допустимая температура структуры, $^{\circ}\text{C}$	+110	+110	+110	+110
Время включения тиристора, мкс, не более	10	10	10	10
Время выключения тиристора, мкс, не более	35	35	35	35

Термины параметров	ТБ-160	ТБ-200	ТБ-250	ТБ-320
Отпирающий ток управления, А	0,4...0,5	0,4...0,5	0,4...0,5	0,4...0,5
Отпирающее напряжение управления, В	6	6	6	6
Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс	100	100	100	100
Критическая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс	200	200	200	200

Табл. 17.17. Параметры роторных тиристоров

Термины параметров	Т2-160	Т-400	ТЗ-500
Предельный ток, А	160	400	500
Температура корпуса, °С	85	85	85
Повторяющееся напряжение, В	400...1000	1000...2000	1000...2000
Прямое падение напряжения, В	1,6	—	2,35
Обратный ток и ток утечки, мА	20	50	50
Ток управления, мА	300	—	400
Напряжение управления, В	6	—	7
Время включения, мкс (группа 1)	10	10	30
(группа 2)	10	20	30
Время выключения, мкс (группа 0)	—	200	500
(группа 1)	250	200	250
(группа 2)	150	200	—
Ударный ток, А	3300	6000	7000
Значение $\int i^2 dt$, А ² ·с	54400	32000(1мс) 180000(10мс)	24500
Критическая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс, не менее:			
группа 0	—	—	—
» 1	20	—	20
» 2	50	50	50
» 3	100	200	100
» 4	200	500	200
» 5	500	1000	500
» 6	1000	—	1000
Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс, не менее:			
группа 0	—	—	10
» 1	—	—	20
» 2	40	100	40
» 3	70	—	70
» 4	100	—	100
» 5	200	—	—
Максимально допустимая температура структуры, °С	125	—	125

Табл. 17.18. Параметры высокочастотных лавинных тириستоров

Термина параметры	ТЧЛ-10	ТЧЛ-16	ТЧЛ-25	ТЧЛ-40	ТЧЛ-50	ТЧЛ-63	ТЧЛ-80	ТЧЛ-100	ТЧЛ-125	ТЧЛ-160	ТЧЛ-200	ТЧЛ-250	ТЧЛ-320
Предельный ток, А	10	16	25	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320
Повторяющееся напряжение, В	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200	100...1200
Напряжение лавинообразования, В	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500	125...1500
Время включения, мкс, не более	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Время выключения, мкс	20	20	20	20	25	25	25	25	25	30	30	30	30
Критическая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс, не менее	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс, не менее	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Энергия рассеяния мощности в обратном направлении, Дж	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4

Табл. 17.19. Параметры тириستоров с повышенными динамическими параметрами

Параметры	ТД-20	ТД-25	ТД-40	ТД-63	ТД-80	ТД-100	ТД-125	ТД-160	ТД-200	ТД-250
Предельный ток, А	20	25	40	63	80	100	125	160	200	250
Повторяющееся обратное напряжение, В	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400	100...1400
Прямое падение напряжения, В, не более	2,0	1,50	0,95	2,25	1,80	1,45	1,50	1,25	0,95	1,15
Ток утечки и обратный ток, мА, не более	6	6	6	8	8	8	10	10	10	15
Ударный ток, кА	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,3	2,8	3,5
Величина $\int I^2 dt$, А ² ·с	450	1800	3200	6050	9800	12800	18050	26450	39200	61500

Параметры	ТД-20	ТД-25	ТД-40	ТД-63	ТД-80	ТД-100	ТД-125	ТД-160	ТД-200	ТД-250
Критическая скорость нарастания прямого напряжения, В/мкс	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000	50...1000
Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс	20...70	20...70	20...70	20...70	20...70	20...70	20...70	20...70	20...70	20...70
Оперирующий ток управления, А, не более	0,60	0,60	0,60	0,45	0,45	0,45	0,60	0,60	0,60	0,60
Оперирующее напряжение управления, В, не более	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Время включения, мкс, не более	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Время выключения, мкс, не более	70...250	70...250	70...250	70...250	70...250	70...250	70...250	70...250	70...250	70...250
Габаритные размеры с охлаждаемым, мм		94×80× ×106		150,2× ×80×70	150,2× ×80×70	150,2× ×80×70		184,3× ×70×80		120×120× ×170,4
Масса тиристора, кг, не более;										
без охлаждаителя	0,13	0,13	0,13	0,22	0,22	0,22	0,33	0,33	0,33	0,46
с охлаждаемым	0,47	0,47	0,47	0,85	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	2,8

Табл. 17. 20. Параметры симметричных тиристоров средней мощности

Буквенное обозначение параметра	КУ208А	2У208А	КУ208Б	2У208Б	КУ208В	2У208В	КУ208Г	2У208Г
$I_{откр. макс.}$ А	5	5	5	5	5	5	5	5
$U_{пр. зкр. макс.}$ В	100	100	200	200	300	300	400	400
$I_{зкр.}$ мА	5	5	5	5	5	5	5	5
$I_{у. от.}$ мА	160	150	160	150	160	150	160	150
$I_{у. неот.}$ мА	1	1	1	1	1	1	1	1
$I_{уд.}$ мА	150	150	150	150	150	150	150	150
$U_{откр.}$ В	2	2	2	2	2	2	2	2
$U_{у. от.}$ В	5	7	5	7	5	7	5	7
$U_{у. неот.}$ В	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
$t_{вкл.}$ мкс	10	10	10	10	10	10	10	10
$t_{выкл.}$ мкс	150	150	150	150	150	150	150	150
$I_{откр. н. макс.}$ А	10	15	10	15	10	15	10	15
$I_{откр. ср. макс.}$ А	30	30	30	30	30	30	30	30
$I_{пр. у. макс.}$ А	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$I_{пр. у. н. макс.}$ А	1	1	1	1	1	1	1	1
$U_{пр. у. н. макс.}$ В	10	10	10	10	10	10	10	10
$P_{ср. макс.}$ Вт	10	10	10	10	10	10	10	10
$P_{у. н. макс.}$ Вт	5	5	5	5	5	5	5	5
$f_{макс.}$ кГц	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$\left \frac{dU_{зкр}}{dt} \right _{макс.}$, В/мкс	10	15	10	15	10	15	10	15
Диапазон рабочих температур, °C ($t_{кор}$)	-60...+85	-60...(+110)	-60...+85	-60...(+110)	-60...+85	-60...(+110)	-60...+85	-60...(+110)

Табл. 17.21. Параметры симметричных тиристоров большой мощности

Термины параметров	ТС-10	ТС-50	ТС-75	ТС-100	ТС-150	ТСВ-150	ТСВ-100	ТСВ-200	Т-80	Т-125	Т-160
Номинальный ток (предельный ток), А	(15)	50	75	100	150	150	100	200	80	125	160
Номинальное напряжение, В		50...800	50...800	100...600	100...600	50...600	50...600	—	—	—	—
Повторяющееся (пиковое) напряжение, В	100...1200	—	—	120...720	120...720	67...800	67...800	—	50...1000	50...1000	50...1000
Неповторяющееся (пиковое) напряжение, В	110...1340	—	—	130...780	130...780	—	—	—	60...1100	60...1100	60...1100
Прямое падение напряжения, В, не более	1,5	1,25	0,9	0,75	0,75	0,9	1,4	0,7	2,5	2,0	2,0
Ударный ток длительною 10 мс, А	140...1000			1100	1100				750	1000	1200
Ток управления, мА	100	420	420	420	420	420	420	420	400	400	400
Напряжение управления, В	3,5	10	10	7	7	10	10	—	7	7	7
Время включения, мкс, не более	12	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Время выключения, мкс, не более	200	70	70	70	70	70	70	70	250 (гр. 1) 150 (гр. 2)	100 (гр. 3) 70 (гр. 4)	не нормируется (для группы 0)
Критическая скорость нарастания тока при температуре 125°C, А/мкс	10	—	—	10	10	—	—	—	не нормируется (для гр. 0), 5 (для гр. 1), 10 (для гр. 2)	—	—
Критическая скорость нарастания напряжения при 125°C, В/мкс	10...100	—	—	20	20	—	—	—	не нормируется (для группы 0), 1 (для гр. 1), 10 (для гр. 3), 5 (для гр. 2), 20 (для гр. 4)		
Тепловое сопротивление, °C/Вт	1,2	0,187	0,187	0,19	0,19	0,187	0,187	—	0,3	0,3	0,25

Табл. 17.22. Параметры гибридных пороговых тиристоров

Буквенное обозначение параметра	2У106А	2У106Б	2У106В	2У106Г
$U_{\text{пр. зкр. мако. В}}$	50	50	100	100
$I_{\text{зкр. мКА}}$	10	10	10	10
$I_{\text{зкр. Э, мКА}}$	1	1	1	1
$I_{\text{у.от, МА}}$	10	10	10	10
$I_{\text{уд, МА}}$	10	10	10	10
$I_{\text{вкл. мКА}}$	20	20	20	20
$U_{\text{откр, В}}$	2	2	2	2
$r_{\text{Б1, Б2, КОМ}}$	4...12	4...12	4...12	4...12
η	0,5...0,7	0,65...0,85	0,5...0,7	0,65...0,85
$t_{\text{выкл, мкс}}$	25	25	25	25
$I_{\text{Э, мако, МА}}$	50	50	50	50
$I_{\text{откр, мако, МА}}$	100	100	100	100
$I_{\text{Э, и, мако, А}}$	1	1	1	1
$I_{\text{откр. и, мако, А}}$	1	1	1	1
$I_{\text{у.от, макс, МА}}$	100	100	100	100
$U_{\text{Б1, Б2, мако, В}}$	30	30	30	30
$U_{\text{обр. ЭБ2, мако, В}}$	30	30	30	30
$U_{\text{обр. а, мако, В}}$	10	10	10	10
$P_{\text{ср, макс, мВт}}$	400	400	400	400
Диапазон рабочих температур, °С	-60...+125	-60...+125	-60...+125	-60...+125

Нормальная работа прибора обеспечивается при следующих полярностях анодного и управляющего напряжения: при положительном мгновенном напряжении на аноде управляющее напряжение может быть как положительным, так и отрицательным; при отрицательном анодном напряжении оно отрицательно.

Симметричный тиристор ТС-10 с двухполярным управлением предназначен для длительной работы в бесконтактной коммутационной и регулирующей аппаратуре в цепях постоянного и переменного тока с частотой до 50 Гц с естественным воздушным охлаждением. Предусматривается применение симистора ТС-10 в регуляторах света ламп накаливания мощностью до 1000 Вт, в статических контакторах переменного тока, в аппаратах импульсной сварки, в регуляторах температуры, в электроприводе маломощных станков.

Симметричный тиристор типа ТС-10 управляется сигналом любой полярности независимо от полярности напряжения, приложенного к силовым выводам. По внешнему виду он ничем не отличается от симисторов типа КУ208.

Электрические параметры симметричных тиристоров средней мощности приведены в табл. 17.20, большой мощности — в табл. 17.21.

17.6. Гибридные пороговые тиристоры

Параметры гибридных пороговых тиристоров приведены в табл. 17.22.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

18. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

18.1. Фотоэлектрический эффект

Фотоэлектрическими называют приборы, действие которых основано на использовании явлений фотоэффекта, возникающих под воздействием лучистой энергии.

При освещении вещества кванты света, проникая в его поверхностный слой, сообщают атомам дополнительную энергию. Под воздействием этой энергии некоторая часть электронов может покинуть пределы атомов, изменяя электропроводность вещества, или покинуть пределы вещества и стать свободными носителями заряда. Если высвобожденные светом электроны не покидают пределы вещества, то такой фотоэффект называют *внутренним*. Фотоэффект называют *внешним*, если под воздействием квантов света электроны выходят за пределы вещества.

При облучении вещества поток лучистой энергии частично отражается от его поверхности и частично поглощается им. Поглощение веществом квантов света приводит к изменению энергии его атомов. Наиболее удаленные от ядра электроны атомов, получившие дополнительную энергию, могут покинуть пределы вещества. Это произойдет тогда, когда энергия, полученная электронами, достигнет или превысит значение работы выхода рассматриваемого вещества.

Фотоэлектронной называют электронную эмиссию, обусловленную исключительно действием электромагнитного излучения, поглощенного твердым или жидким телом, и не связанную с его нагреванием.

Величина фототока насыщения (максимальное число электронов, эмиттируемых веществом в единицу времени) прямо пропорциональна световому потоку Φ , облучающему вещество:

$$I_{\phi} = n_{\phi} e = K \Phi,$$

где n_{ϕ} — число эмиттируемых веществом электронов; K — коэффициент пропорциональности, называемый *фоточувствительностью освещаемой поверхности*; e — заряд электрона.

Это соотношение называют *первым законом фотоэффекта* или *законом Столетова*. Закон справедлив при условии постоянства спектрального состава изменяющегося по величине светового потока.

Кинетическая энергия эмиттируемых электронов зависит от частоты светового колебания и не зависит от интенсивности светового потока (второй закон фотоэффекта). Это можно видеть из уравнения А. Эйнштейна, объясняющего законы внешнего фотоэффекта с помощью квантовой теории света:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + W_0,$$

где $h\nu$ — энергия фотона (h — постоянная Планка, ν — частота монохроматического излучения); $\frac{mv^2}{2}$ — кинетическая энергия электрона; W_0 — работа выхода электрона.

Уравнение Эйнштейна устанавливает связь между энергией фотона и энергией эмиттированного из вещества электрона. Из уравнения следует, что энергия фотона, поглощенная электроном, расходуется на совершение электроном работы выхода из вещества и сообщения ему кинетической энергии. Уравнение показывает, что скорость фотоэлектронов возрастает с увеличением частоты света и уменьшается при ее уменьшении (W_0 — величина, постоянная для данного вещества).

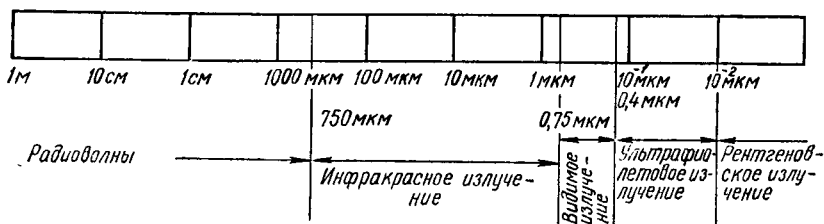


Рис. 18.1. Шкала электромагнитных волн

Существует достаточно малая и вполне определенная для данного материала частота света $\nu = \nu_0$ (или соответствующая ей длина волны), при которой кинетическая энергия электрона становится равной нулю и фотоэффект прекращается (третий закон фотоэффекта). Это будет иметь место, когда вся энергия фотона будет израсходована на совершение работы выхода электрона, т. е. $h\nu = W_0$.

В этом случае $\nu_0' = W_0/h$ или $\lambda_0' = hc/W_0$, где c — скорость света. Минимальную частоту света ν_0 , при которой фотоэффект прекращается, называют *красной границей фотоэффекта*, а соответствующую ей длину волны λ_0' — *пороговой длиной волны фотоэффекта*. Красная граница фотоэффекта зависит от величины работы выхода, т. е. от материала светочувствительной поверхности. Значения работы выхода и пороговой длины волны ряда металлов приведены в табл. 18.1.

У цинка, платины, вольфрама и тория красная граница фотоэффекта находится в ультрафиолетовой области спектра (рис. 18.1), у

Табл. 18.1. Значения работы выхода и пороговой длины волны для некоторых металлов

Металл	W_0 , эВ	λ_0' , нм	Металл	W_0 , эВ	λ_0' , нм
Платина	5,29	235	Натрий	2,25	552
Вольфрам	4,5	276	Цезий	1,89	620
Цинк	4,19	290	Пленка цезия на вольфраме	1,36	913
Торий	3,41	364			

натрия и цезия — в видимой части спектра, у пленки цезия на вольфраме — в инфракрасной области спектра.

18.2. Классификация и условные обозначения

Фотоэлектрические приборы делят на два больших класса: электровакуумные и полупроводниковые.

Электровакуумными называют фотоприборы с фотоэлектронным катодом. Электровакуумные фотоприборы подразделяют на фотоэлементы и фотоэлектронные умножители. *Фотоэлементы* обозначают буквой Φ с добавлением числа, указывающего порядковый номер типа прибора (например, Φ -9). *Фотоэлектронные умножители* обозначают буквами $\Phi Э У$ с добавлением числа, указывающего порядковый номер типа прибора, например $\Phi Э У$ -84 ГОСТ 13393—67).

Классификация и система обозначений полупроводниковых фотоэлектрических приборов установлены ГОСТ 17704—72 и приведены на схеме 18.1.

Первый элемент обозначения полупроводниковых фотоэлектрических приемников лучистой энергии определяет группу приемника:

- фоторезисторы неохлаждаемые — ФР;
- фоторезисторы охлаждаемые — ФРО;
- приемники фотоманитные неохлаждаемые — ФМ;
- приемники фотоманитные охлаждаемые — ФМО;
- фотоприемники с p — n -переходами с внутренним усилением неохлаждаемые — ФУ;
- фотоприемники с p — n -переходами с внутренним усилением охлаждаемые — ФУО;
- фотоприемники с p — n -переходами без усиления неохлаждаемые — ФД;
- фотоприемники с p — n -переходами без усиления охлаждаемые — ФДО.

Второй элемент обозначения определяет материал, из которого изготовлен прибор. Обозначение материала должно соответствовать указанному в табл. 18.2.

Материал фоточувствительного элемента в обозначении приемника записывается либо в буквенном, либо в цифровом варианте в зависимости от назначения (области применения) приемника.

К Л А С С

ПРИБОРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ И МИКРОСХЕМЫ
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

П О Д К Л А С С

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИЕМНИКИ
ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Г Р У П П Ы



Т И П Ы

Приемники, отличающиеся по конструктивному оформлению, устройству оптической системы, числу и расположению чувствительных элементов, характеру и исполнению охлаждения и другим признакам

Схема 18.1. Классификация полупроводниковых фотоприборов

Табл. 18.2. Материалы полупроводниковых фотоприборов
(второй элемент обозначения)

Материал фоточувствительного элемента	Обозначение материала фоточувствительного элемента, предназначенного для приемников широкого применения	Обозначение материала фоточувствительного элемента, предназначенного для приемников специального применения
Германий	ГО	10
Германий легированный:		
а) бором	ГБ	11
б) золотом	ГЗ	12
в) кадмием	ГА	13
г) медью	ГМ	14
д) ртутью	ГР	15
е) цинком	ГЦ	16
ж) цинком и сурьмой	ГГ	17
з) золотом и сурьмой	Г2	18
Германиево-кремниевый сплав	ГК	19
Кремний	К	20
Кремний, легированный:		
а) алюминием	КЮ	21
б) бором	КБ	22
в) галлием	КГ	23
Антимонид галлия	АГ	31
Арсенид галлия	РГ	32
Фосфид галлия	ФГ	33
Антимонид индия	АИ	41
Арсенид индия	РИ	42
Фосфид индия	ФИ	43
Сульфид свинца	СС	51
Селенид свинца	ЕС	52
Теллурид свинца	ТС	53
Сульфид цинка	СЦ	61
Сульфид кадмия	СА	71
Селенид кадмия	ЕА	72
Теллурид кадмия	ТА	73
Теллурид ртути	ТР	83
Тройные соединения:		
а) $Cd_xHg_{1-x}Te$	X1	91
б) $Pb_xSn_{1-x}Te$	X2	92
в) $Pb_xSn_{1-x}Se$	X3	93

При обозначении двухцветных приемников и приемников с гетеропереходами необходимо указывать оба материала через разделительное тире. Материал с меньшей шириной запрещенной зоны должен записываться первым.

Третий элемент обозначения определяет порядковый номер разработки приемников в подгруппе и обозначается от 001 до 999.

Четвертый элемент обозначения определяет подгруппу приемников:

фоторезисторы многоэлементные — П (одно- и двухэлементные фоторезисторы обозначения подгруппы не имеют);

фототранзистор униполярный — У;

фототранзистор биполярный — Б;

фотодиод лавинный — Л;

фототиристор — Т;

фотодиод координатный — К (некоординатные фотодиоды обозначения подгруппы не имеют).

В технически обоснованных случаях допускается присвоение полупроводниковым приемникам лучистой энергии сокращенных и дополнительных обозначений, что должно быть оговорено в стандартах или другой технической документации на приборы конкретных типов, утвержденных в установленном порядке.

Примеры условных обозначений приемников лучистой энергии приведены ниже.

Фотодиод неохлаждаемый из германия, легированного золотом, предназначенный для широкого применения, координатный. Номер разработки 001:

ФД-ГЗ — 001 К;

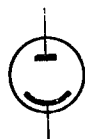
фоторезистор охлаждаемый из сульфида свинца, предназначенный для специального применения, многоэлементный. Номер разработки 011:

ФРО-51 — 011П.

Условное графическое обозначение фотоэлектрических приборов приведено в табл. 18.3.

Табл. 18.3. Условные графические обозначения фотоэлектрических приборов

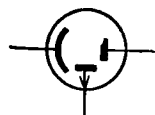
Фотоэлемент электронный



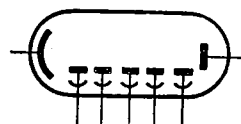
Фотоэлемент ионный



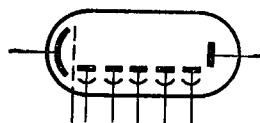
Умножитель фотоэлектронный:
однокаскадный



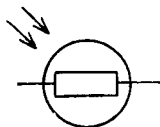
пятикаскадный



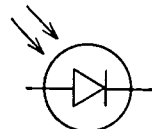
пятикаскадный с управляемым электродом



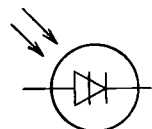
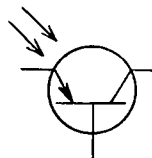
Фоторезистор



Фотодиод



Диодный фототиристор

Фототранзистор типа $p-n-p$ 

19. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ФОТОПРИБОРЫ

19.1. Термины и определения основных параметров фотоумножителей и фотоэлементов

Фотокатод — фоточувствительный слой, обладающий свойством испускать электроны под действием потока излучения.

Темновой анодный ток — ток в цепи анода при отсутствии облучения фотокатода.

Анодный ток — сумма анодного фототока и темнового анодного тока.

Рабочая площадь фотокатода — часть поверхности фотокатода, при облучении которой обеспечиваются гарантированные значения основных параметров.

Световая чувствительность фотокатода — количественная оценка способности фотокатода преобразовывать падающий световой поток в электрический ток, определяемая отношением фототока к энергии падающего светового потока.

Спектральная чувствительность фотокатода — количественная оценка способности фотокатода преобразовывать падающий лучистый поток (преимущественно монохроматический) в электрический ток, определяемая отношением фототока к энергии падающего лучистого потока.

Относительная спектральная чувствительность фотокатода — отношение спектральной чувствительности фотокатода на данной

длине волны к максимальной спектральной чувствительности фотокатода.

Характеристика спектральной чувствительности фотокатода — зависимость спектральной чувствительности фотокатода от длины волны.

Характеристика относительной спектральной чувствительности фотокатода — зависимость относительной спектральной чувствительности фотокатода от длины волны.

Максимум спектральной характеристики — длина волны, на которой спектральная чувствительность фотокатода имеет максимальное значение.

Область спектральной чувствительности фотоэлемента — диапазон длин волн, в котором относительная спектральная чувствительность фотокатода фотоэлемента превышает 10% от максимального значения.

Световая анодная чувствительность фотоэлектронного умножителя — отношение анодного фототока фотоэлектронного умножителя к падающему на фотокатод световому потоку.

Спектральная анодная чувствительность фотоэлектронного умножителя — отношение анодного фототока фотоэлектронного умножителя к падающему на фотокатод лучистому потоку.

Коэффициент усиления каскада фотоэлектронного умножителя — отношение тока эмиссии динода фотоэлектронного умножителя к току эмиссии предыдущего электрода.

Коэффициент усиления фотоэлектронного умножителя по току — отношение анодного фототока фотоэлектронного умножителя к фототоку фотокатода.

Длинноволновая граница чувствительности фотокатода — чувствительность, характеризующаяся красной границей фотоэффекта.

Различие времени пролета по фотокатоду — изменение времени прохождения сигнала в фотоэлектронном умножителе при облучении различных участков рабочей площади фотокатода.

Квантовый выход — отношение числа освобожденных электронов (фотоэлектронов) к числу падающих фотонов.

Плотность тока термоэмиссии (A/cm^2) — отношение числа освобожденных электронов под воздействием тепла (термоэлектронов) к площади катода.

Крутизна фронта импульса S — отношение величины импульса анодного тока на уровне $(0,1-0,9) I_{ам}$ ко времени нарастания импульса: $S = 0,8 I_{ам} / \tau_f$ [мА/нс] ($I_{ам}$ — максимальная амплитуда импульса анодного тока).

Время нарастания импульса анодного тока τ_f — интервал времени в нс, в течение которого импульс нарастает от 0,1 до 0,9 амплитудного значения $I_{ал}$ ($I_{ал}$ — наибольшая величина анодного тока, при которой отклонение от прямой пропорциональности между анодным током и световым потоком, падающим на фотокатод, не превышает 5—15%).

Длительность импульса анодного тока τ_n — интервал времени

в нс между началом и концом импульса, измеренный на уровне 0,1 от амплитудного значения $I_{ал}$.

Максимальная амплитуда импульса анодного тока $I_{ам}$ — выраженное в амперах значение амплитуды анодного импульса, измеренного в режиме насыщения анодного тока при максимально допустимом напряжении питания ФЭУ.

19.2. Фотоэлементы

Фотоэлементом называют электровакуумный электрический прибор, электрические свойства которого (ток, внутреннее сопротивление, ЭДС) изменяются под действием падающего на него излучения (ГОСТ 13820—68).

В фотоэлементах основой получения носителей заряда (электронов) является фотоэлектронная эмиссия. Фотоэлементы выполняются в стеклянных баллонах с высоким вакуумом (10^{-7} Тор), предохраняющим фотокатод от быстрого окисления и способствующим свободному перемещению электронов. В баллоне размещены два электрода — анод и фотокатод. Баллоны фотоэлементов, чувствительных к ультрафиолетовым лучам, выполнены из кварца. Катоды фотоэлементов представляют собой тонкий слой светочувствительного вещества, нанесенный обычно на часть внутренней поверхности баллона. Не занятая часть поверхности баллона служит окном для прохождения света. Чаше применяются полупроводниковые катоды, имеющие сложное строение, поскольку простые (металлические) катоды не обеспечивают достаточной фотоэмиссии. К ним относятся сурьмяно-цезиевые, кислородно-серебряно-цезиевые и сурьмяно-натриево-цезиевые. Фотокатод фотоэлементов Ф-1 наносится непосредственно на внутреннюю поверхность баллона, фотоэлементов Ф-8 и Ф-13 — на металлическую подкладку, фотоэлементов Ф-2 и Ф-5 — на никелевые пластины, закрепленные внутри баллона. Для фотокатодов, нанесенных непосредственно на стекло, характерным является возникновение вторичной эмиссии электронов при неравномерном освещении отдельных частей его поверхности. Это связано с большим продольным сопротивлением таких фотокатодов, приводящим к возникновению разности потенциалов между участками с различной освещенностью. Возникновение вторичной эмиссии электронов нарушает линейность световой характеристики фотоэлементов. Такие фотоэлементы удовлетворительно работают только при небольших световых потоках, а также при боковом или тыловом («на просвет») освещении. Фотокатоды с металлической подкладкой лишены вторичной эмиссии электронов, однако они сложны в производстве и менее виброустойчивы.

В ряде случаев практического использования фотоэлементов возникает необходимость в чувствительности к излучению в широкой области спектра (спектрофотометрия, колориметрия и др.). В этих случаях иногда применяют два фотоэлемента, имеющие чувствительность к различным частям спектра. Для этой цели разра-

ботаны специальные *многокомпонентные фотокатоды*, чувствительные в широкой области спектра от 300...400 до 800...900 нм. Примером последнего является фотокатод, содержащий сурьму, калий, натрий и цезий.

Анодом фотоэлементов служит никелевое кольцо, расположенное в центре баллона, или медная сетка, укрепленная вблизи пластинчатого фотокатода. Такая конструкция анода создает незначительное препятствие падающему на фотокатод свету. Аноды могут быть выполнены также в виде стержня, шара, петли, пластины или проволоки. Фотоэлементы, применяемые в мостовых схемах, имеют дополнительный второй анод.

Фотоэлементы для переменного тока выполняются двухкатодными, т. е. не имеют анода.

Фотоэлементы применяются в схемах автоматики для регулирования освещенности помещений, включения и отключения наружного освещения, счета или контроля прохождения объектов (пассажиров, деталей, поездов, вагонов и др.), контроля состояния освещенности различных устройств и т. д.

Электрические параметры фотоэлементов приведены в табл. 19.1.

Табл. 19.1. Параметры фотоэлементов

Тип фотоэлемента	Интегральная чувствительность фотозлемента, мкА/лм	Темновой ток, А	Оптический вход	Диаметр (размер) рабочей площади фотокатода, мм	Спектральная чувствительность, мкА/мВт при λ , нм		Долговечность, ч ($\Phi=0,002$ — —0,05 лм; $R_H=200$ кОм)
					600	400	
Ф-1	70—130	$1 \cdot 10^{-14}$	боковой с увюнолерым стеклом	(25×10)	3,46	39,8	500
Ф-2	15—70	$1 \cdot 10^{-8}$	боковой	(20×12)	—	—	—
Ф-4	70	$5 \cdot 10^{-11}$	боковой с увюнолерым стеклом	28	3,46	39,8	1000
Ф-5	—	$5 \cdot 10^{-11}$	боковой	(30×18)	0,62	—	—
Ф-6	40—80	$1 \cdot 10^{-11}$	Соковой	33	—	8	500
Ф-7	—	$1 \cdot 10^{-11}$	торцовый	28,5	0,1 (253,7 нм)	—	—
Ф-9	100	$3 \cdot 10^{-13}$	торцовый	39	5 (750 нм)	—	1000
Ф-10	80	$1 \cdot 10^{-12}$	торцовый	60	—	30	1000
Ф-13	40	$1 \cdot 10^{-18}$	торцовый	25	—	—	3000
Ф-16	100	$1 \cdot 10^{-13}$	торцовый	25	5	—	100
Ф-18	—	$1 \cdot 10^{-8}$	торцовый	20	—	—	100
Ф-21	8	$3 \cdot 10^{-10}$	—	25	0,9 (750 нм)	0,6 (550 нм)	5000
Ф-22	50	$1 \cdot 10^{-13}$	—	25...26	18% (относ.)	—	вспышек 5000
Ф-23	10	$5 \cdot 10^{-11}$	—	24	0,62	0,05 (1100 нм)	вспышек 200

19.3. Фотоэлектронные умножители

Фотоэлектронным умножителем называют электровакуумный прибор, в котором ток фотоэлектронной эмиссии усиливается посредством вторичной электронной эмиссии.

Устройство фотоумножителя показано на рис. 19.1. В стеклянный баллон, из которого выкачан воздух, помещен фотокатод К и динодная система (Э1, Э2, Э3, Э4, Э5 и А).

Динодной системой фотоумножителя называют совокупность динодов, анода и специальных электродов, обеспечивающую умножение электронов.

Часть динодной системы фотоумножителя, ограниченную эмиттирующим динодом и следующим более положительным динодом или анодом, называют *каскадом усиления фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)*. На поверхность электродов динодной системы нанесено кислородно-цезиевое, медно-серно-цезиевое или другое покрытие, позволяющее получить коэффициент вторичной эмиссии больше единицы. Потенциал каждого последующего электрода превышает потенциал предыдущего.

Электроны, эмиттируемые фотокатодом К при облучении его светом, устремляются (направляются) под действием электрического поля к катоду вторичных электронов (диноду) Э1, выбивая с его поверхности вторичные электроны. Последние будут следовать ко второму диноду, оказывая то же действие, и т. д. Поверхности динодов (каждая в отдельности) обеспечивают коэффициент вторичной эмиссии $\sigma > 1$ (обычно $\sigma = 6 \dots 8$). Таким образом, если при данном световом потоке ток с фотокатода равен $I_{\text{ф}}$, то с первого динода он равен $\sigma I_{\text{ф}}$, со второго — $\sigma^2 I_{\text{ф}}$ и т. д. Общий коэффициент усиления фототока в фотоумножителе будет равен $K_I = \sigma^n$, где n — число ступеней фотоумножителя (число динодов). Таким образом, фотоэлектронный умножитель, помимо преобразования световой энергии в электрическую, выполняет также и функцию усиления фототока.

Промышленность выпускает одно- и многокаскадные фотоумножители. *Однокаскадные фотоумножители*, помимо анода и катода, имеют один динод. Катод нанесен на внутреннюю стенку стеклянного баллона, анод выполнен в виде металлической сетки и размещен вблизи динода. Катод и динод аналогичны по конструкции, но имеют разное назначение. Катод является преобразователем, динод — услителем.

Работа фотоумножителя заключается в следующем. Электроны, эмиттируемые фотокатодом К, движутся в направлении анода и большая часть их, минуя анод, попадает на динод Э, вызывая с его поверхности вторичную эмиссию. Потенциал анода выше, чем потенциал динода, поэтому электроны вторичной эмиссии попадают на анод, создавая анодный ток. Интегральная чувствительность однокаскадного фотоумножителя в σ раз выше чувствительности обычного фотоприбора с аналогичным катодом.

Коэффициент усиления и интегральная чувствительность зави-

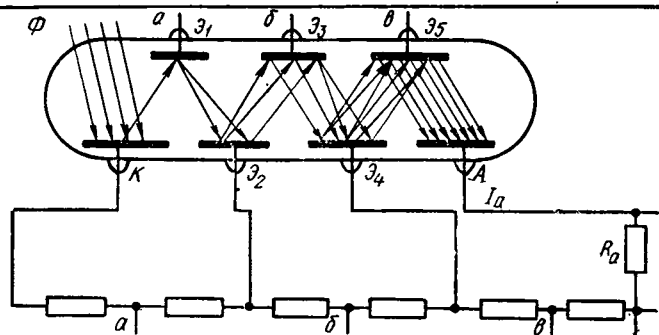


Рис. 19.1. Устройство и схема включения фотоэлектронного умножителя

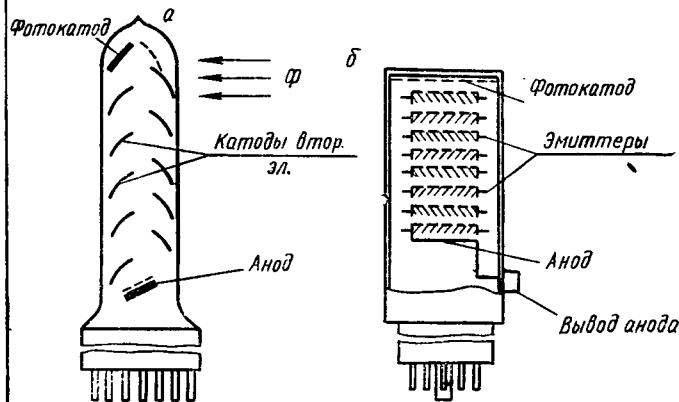


Рис. 19.2. Устройство многокаскадных фотоумножителей:
а — с фокусирующими электродами; б — сквозного действия

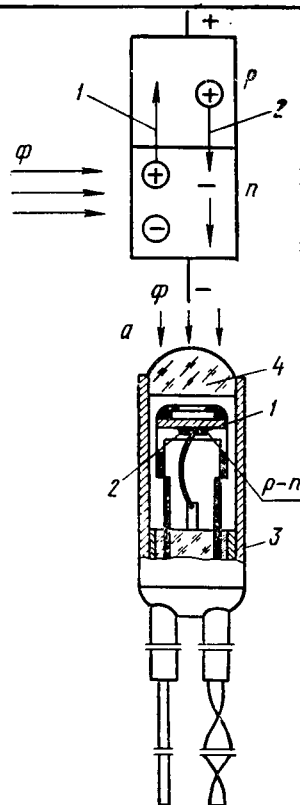


Рис. 20.1. Структура фотодиода:
1 — неосновные носители; 2 — основные носители

Рис. 20.2. Фотодиод:
а — устройство; б — схема включения фотогенератора;
в — схема включения фотопреобразователя

сят от напряжения источника питания фотоумножителя и возрастают с его увеличением.

Многокаскадные (многоступенчатые) фотоумножители различаются конструкцией электродной системы. Промышленность выпускает многоступенчатые умножители с фокусирующими электродами и умножители сквозного действия. Катоды вторичных электронов умножителей с фокусирующими электродами выполняют в виде ковшей и располагают так, чтобы получить наиболее полный переход электронов от одного катода к другому (рис. 19.2, а).

В умножителях сквозного действия (рис. 19.2, б) выход вторичных электронов происходит с обратной стороны. В этом случае отпадает необходимость в принятии особых мер направления электронных потоков от одного электрода к другому. Катоды вторичных электронов выполняют или в виде металлических пластин, или в виде сеток.

Фотоэлектронные умножители находят широкое применение в радиоаппаратуре, используемой в биофизике, ядерной физике, радиоастрономии, связи и др.

Основное преимущество фотоумножителей заключается в высокой чувствительности и меньших шумах по сравнению с обычными фотоприборами. Недостатками их являются: необходимость в высоковольтном источнике питания, чувствительность к световым перегрузкам (для снижения ее баллон покрывают светонепроницаемым лаком, оставляя лишь небольшое отверстие против катода), сложность конструкции и высокая стоимость.

Табл. 19.2. Характеристика фотокатодов, применяемых в ФЭУ

Материал фотокатода	Максимум спектральной характеристики, нм	Длинноволновая граница чувствительности ² , нм	Максимальный квантовый выход, %	Чувствительность фотокатода, мкА/лм		Плотность тока термоэмиссии, А/см ²
				средняя	максимальная	
AgOCs	800	1200...1400	0,3...1	20...30	70	10 ⁻¹² ...10 ⁻¹³
SbCs	400	650	12...25	40...80	120	10 ⁻¹³
SbCsO	440	700...750	10...20	40...100	180	10 ⁻¹⁵
SbNaK	370	650	25	30...40	60	10 ⁻¹⁶
SbKCs	450	600	20...25	45	100	10 ⁻¹⁷
BiAgOCs	450	750...800	10	30...60	100	10 ⁻¹⁴
SbKNaCs	420	830...900	20...35	120...180	400	10 ⁻¹⁶
SbKNaCs, ERMA	575	950	10	265	—	10 ⁻¹⁵
TeCs	270	350...400	6...20	—	—	—
TeRb	260	300...320	10	—	—	—
TeKSb	210	300...350	—	—	—	—
CsI	120 ¹	200	20	—	—	—
CuI	150 ¹	220	7...10	—	—	—
CaAs : Cs, O	450	950	10	250...1000	500...900	10 ⁻¹⁶
CaAsP : Cs	450	750...800	17	200	—	10 ⁻¹⁷
InOaAs : Cs, O	400	1200	22	260	1000...2000	10 ⁻¹⁵

¹ Материал входного окна — LiF.

² 1% от максимума.

Табл. 19.3. Материалы фотокатодов и динодов для различных типов ФЭУ

Тип фотокатода	Материал		Тип ФЭУ
	фотокатода	динода	
Массивный	SbCs AgOCs	SbCs AlMg	ФЭУ-17 ФЭУ-18, ФЭУ-26 ФЭУ-22
	SbCs	SbCs	ФЭУ-31, ФЭУ-50, ФЭУ-60, ФЭУ-64, ФЭУ-67, ФЭУ-71, ФЭУ-85, ФЭУ-86, ФЭУ-101, ФЭУ-108, ФЭУ-109
	SbCs(O), SbCs	AlMg, CuMg	ФЭУ-13 ФЭУ-30, ФЭУ-56, ФЭУ-63, ФЭУ-65, ФЭУ-81, ФЭУ-82, ФЭУ-91, ФЭУ-92, ФЭУ-93
Полупрозрач- ный	SbKNaCs	AlMg, CuBe, CuMg	ФЭУ-49, ФЭУ-52, ФЭУ-68, ФЭУ-69, ФЭУ-79, ФЭУ-84, ФЭУ-94, ФЭУ-95, ФЭУ-100, ФЭУ-104, ФЭУ-105, ФЭУ-106
	SbKNaCs SbKCs	SbKNaCs CuMg, AlMg	ФЭУ-77 ФЭУ-78, ФЭУ-96, ФЭУ-107
	SbKCs SbKNa AgOCs	SbKCs AlMg AlMg	ФЭУ-87 ФЭУ-102 ФЭУ-28, ФЭУ-62, ФЭУ-83
	BiAgOCs	CuMg, CuBe	ФЭУ-15- ФЭУ-55
	TeCs	AlMg, CuMg	ФЭУ-57
	TeKRb	CuMg AlMg	ФЭУ-99

Табл. 19.4. Импульсные параметры ФЭУ

Тип ФЭУ	Диаметр рабочей площади фотокатода, мм	Различие времени пролета электронов по фотокатоду, нс	Крутизна фронта импульса, мА/нс	Время нарастания импульса, нс	Длительность импульса на уровне 0,1 $I_{ал,нс}$	Максимальная амплитуда выходного импульса, А
ФЭУ-13	40	3,0...4,0	150...250	5,0...7,0	30	1,0...1,2
ФЭУ-15	25	1,3...1,8	200...250	5,5...6,0	30	1,0...1,2
ФЭУ-49	150	6,0...7,0	150...200	9,0...10,0	50...60	1,5...2,0
ФЭУ-52	60	5,0...7,0	150...200	8,0...10,0	50...60	1,5...2,0
ФЭУ-56						
ФЭУ-55	15	0,8...1,0	50...60	3,7...4,0	25...30	0,25...0,3
ФЭУ-53						
ФЭУ-59	40	—	230...250	7,5...8,0	40...50	1,8...2,5
ФЭУ-30	50	—	—	3	10	0,7
ФЭУ-63	100	1	—	3,5	15	0,7
ФЭУ-65	150	2,5	175	3,5	17	0,7
ФЭУ-77	5	—	—	2,5	7	0,3
ФЭУ-87	20	1	—	2,0	4,5	0,2

Коэффициент усиления современных фотоумножителей достигает значений 10^8 . Интегральная чувствительность фотоэлектронных умножителей равна произведению интегральной чувствительности фотоприбора на входе умножителя на коэффициент усиления фототока.

Табл. 19.5. Габаритные размеры и средние значения параметров ФЭУ

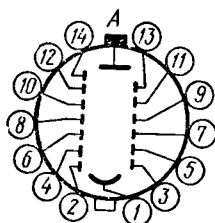
Тип ФЭУ	Область спектральной чувствительности, нм	Максимальный диаметр, мм	Максимальная посадочная длина, мм	Диаметр рабочей площади фотокатода, мм	Число каскадов усиления	Чувствительность фотокатода		Анодная чувствительность, А/лм	Напряжение питания, В	Темновой ток, А
						интегральная, мкА/лм	спектральная, А/Вт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ФЭУ-17А	300...600	48,5	161	16×5	13	35	—	10	700	3·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-18А	220...600	48,5	161	16×5	13	35	—	10	700	3·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-20	320...600	34	81	10×5	8	40	4·10 ⁻²	1	700	3·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-22	400...1000	48,5	161	16×5	13	40	4,5·10 ⁻⁴	1	1100	5·10 ⁻⁹
ФЭУ-26	320...600	22,5	60	4×4	7	40	—	1	700	5·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-28	300...1100	34	108	25	11	35	—	1	1200	7·10 ⁻⁸
ФЭУ-30	350...600	68	180	50	14	70	—	1000	2100	4·10 ⁻⁶
ФЭУ-31, 31А	300...600	22,5	66	18	8	70	5,5·10 ⁻²	1	650	1·10 ⁻⁹
ФЭУ-50	350...600	91	307	15×150	11	60	4·10 ⁻²	100	850	—
ФЭУ-49	300...850	171	195	150	12	90	—	100	1800	2·10 ⁻⁷
ФЭУ-55	310...770	21,5	75	12	14	40	—	10	1400	7·10 ⁻⁹
ФЭУ-60	300...600	15	59	10	10	80	5·10 ⁻²	10	950	1·10 ⁻⁹
ФЭУ-62	400...1200	34	81	10	11	30	—	1	1050	3·10 ⁻⁸
ФЭУ-63	350...600	125	270	100	14	80	—	100	1900	—
ФЭУ-64	300...600	48,5	155	5	11	80	5,5·10 ⁻²	10	750	2·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-65	350...600	185	350	150	14	45	—	100	2100	—
ФЭУ-67, 67А	300...600	22,5	79	10	8	90	6·10 ⁻²	3	850	2·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-67Б	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ФЭУ-68	300...820	15	64	10	10	120	1,1·10 ⁻²	0,1	750	1·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-69	300...830	22,5	75	10	10	130	1,2·10 ⁻²	3	1100	3·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-71	160...600	31	90	16	11	100	6,5·10 ⁻²	10	750	2·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-77	300...830	48,5	167	5	13	130	1,8·10 ⁻²	100	1800	4·10 ⁻⁹
ФЭУ-78Б	300...600	52	160	40	14	40	5·10 ⁻²	10	1400	—
ФЭУ-79	300...830	48,5	155	6	11	200	2,2·10 ⁻²	100	1500	2·10 ⁻⁹
ФЭУ-81	300...650	52	110	40	12	45	—	10	1300	5·10 ⁻⁹
ФЭУ-82	300...650	80	140	63	12	40	—	10	1300	1·10 ⁻⁸
ФЭУ-83	400...1200	34	105	25	12	25	—	10	1500	5·10 ⁻⁷
ФЭУ-84	300...850	34	105	25	12	130	15...20(700нм)	100	1450	3·10 ⁻⁸

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ФЭУ-85	300...600	30	90	25	11	80	5,5·10 ⁻²	10	850	2·10 ⁻⁹
ФЭУ-86	300...600	20	72	10	10	90	6·10 ⁻²	10	850	7·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-87	300...600	30	110	20	11	45	4,5·10 ⁻²	100	1500	1·10 ⁻⁹
ФЭУ-91	340...650	40	115	25	12	40	—	30	1400	3,5·10 ⁻⁹
ФЭУ-92	340...650	40	113	25	12	50	—	30	1500	5·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-93	300...650	52	110	40	12	35	—	10	1300	1·10 ⁻⁸
ФЭУ-94	360...850	130	180	100	11	110	—	10	1300	8·10 ⁻⁹
ФЭУ-95	360...850	200	250	160	12	110	—	10	1300	5·10 ⁻⁸
ФЭУ-96	230...680	21,5	75	3	14	35	—	30	1600	3·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-97	230...680	52	110	40	14	45	—	30	1350	8·10 ⁻⁹
ФЭУ-101	300...600	20	72	10	10	90	6·10 ⁻²	10	850	5·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-102	300...500	20	80	16	12	40	4,5·10 ⁻²	—	—	—
ФЭУ-103	230...680	15	85	3	14	25	—	30	1600	2·10 ⁻⁹
ФЭУ-104	300...830	48,5	125	5	11	190	6,5·10 ⁻²	100	1800	4,5·10 ⁻⁹
ФЭУ-106	170...830	48,5	155	6	11	180	2·10 ⁻²	100	1600	3·10 ⁻⁹
ФЭУ-107	300...600	80	180	60	14	35	4,5·10 ⁻²	30	1700	5·10 ⁻⁹
ФЭУ-108	300...600	20	66	16	8	80	5·10 ⁻²	1	650	8·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-109	300...600	15	60	10	10	80	5·10 ⁻²	1	800	8·10 ⁻¹⁰
ФЭУ-110	300...850	80	125	63	12	110	—	10	1300	5·10 ⁻⁹
ФЭУ-112	230...1100	21,5	75	5	14	25	—	10	1500	1·10 ⁻⁷
ФЭУ-113	400...1200	34	105	25	12	6,5·10 ⁻⁴	—	300	1500	8·10 ⁻⁶
ФЭУ-114	250...850	21,5	75	10	14	80	—	30	1400	5·10 ⁻¹⁰

Характеристики фотокатодов, применяемых в ФЭУ, приведены в табл. 19.2, материалы фотокатодов и динодов для различных типов ФЭУ — в табл. 19.3, импульсные параметры ФЭУ — в табл. 19.4, средние значения параметров ФЭУ — в табл. 19.5, цоколевка — в табл. 19.6.

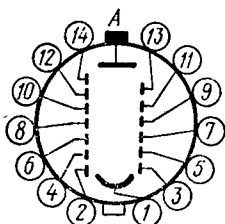
Табл. 19.6. Цоколевка фотоумножителей

ФЭУ-17А



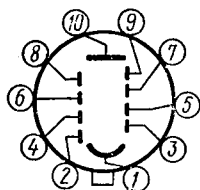
1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — девятый динод, 11 — десятый динод, 12 — одиннадцатый динод, 13 — двенадцатый динод, 14 — тринадцатый динод, А — анод

ФЭУ-18А



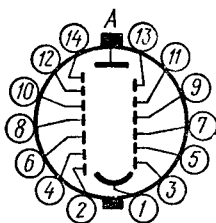
1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — девятый динод, 11 — десятый динод, 12 — одиннадцатый динод, 13 — двенадцатый динод, 14 — тринадцатый динод, А — анод

ФЭУ-20
ФЭУ-20А



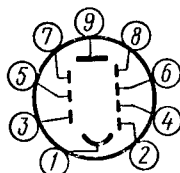
1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — анод

ФЭУ-22



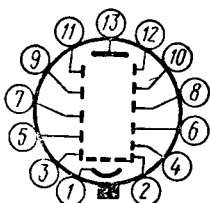
1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — девятый динод, 11 — десятый динод, 12 — одиннадцатый динод, 13 — двенадцатый динод, 14 — тринадцатый динод, А — анод

ФЭУ-26



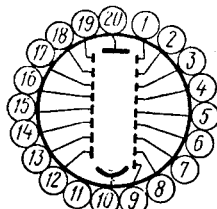
1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — анод

ФЭУ-28

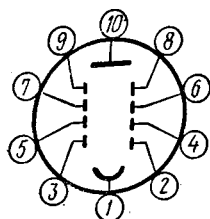


1 — фотокатод, 2 — первый динод и экран, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — девятый динод, 11 — десятый динод, 12 — одиннадцатый динод, 13 — анод

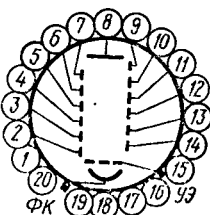
ФЭУ-30



1 — четырнадцатый динод, 2 — двенадцатый динод, 3 — десятый динод, 4 — восьмой динод, 5 — шестой динод, 6 — четвертый динод, 7 — второй динод, 8 — второй фокусирующий электрод, 9 — первый фокусирующий электрод, 10 — фотокатод, 12 — первый динод, 13 — третий динод, 14 — пятый динод, 15 — седьмой динод, 16 — девятый динод, 17 — одиннадцатый динод, 18 — тринадцатый динод, 19 — экран, 20 — анод

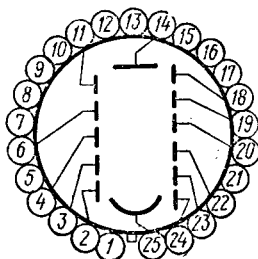
ФЭУ-31
ФЭУ-31А

1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — анод

ФЭУ-49
ФЭУ-49А
ФЭУ-49Б

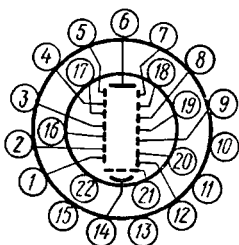
2 — первый динод, 3 — третий динод, 4 — пятый динод, 5 — седьмой динод, 6 — девятый динод, 7 — одиннадцатый динод, 8 — анод (коллектор), 9 — двенадцатый динод, 10 — десятый динод, 11 — восьмой динод, 12 — шестой динод, 13 — четвертый динод, 14 — второй динод, 16 — кольцо, ФК — фотокатод, УЭ — управляющий электрод

ФЭУ-50



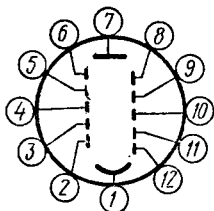
2 — второй динод, 3 — четвертый динод, 4 — шестой динод, 6 — восьмой динод, 11 — десятый динод, 14 — анод, 18 — одиннадцатый динод, 19 — девятый динод, 20 — седьмой динод, 22 — пятый динод, 23 — третий динод, 24 — первый динод, 25 — катод

ФЭУ-60



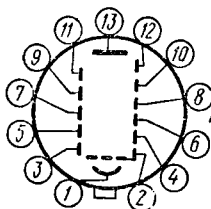
1 — фотокатод, 2 — второй динод, 3 — четвертый динод, 4 — шестой динод, 5 — восьмой динод, 6 — десятый динод, 7 — анод, 8 — девятый динод, 9 — седьмой динод, 10 — пятый динод, 11 — третий динод, 12 — первый динод

ФЭУ-62



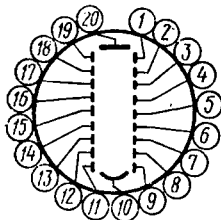
1 — фотокатод, 2 — первый динод, 3 — второй динод и экран, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — девятый динод, 11 — десятый динод, 12 — одиннадцатый динод, 13 — анод

ФЭУ-63



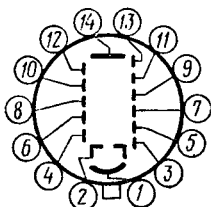
1 — четырнадцатый динод, 2 — двенадцатый динод, 3 — десятый динод, 4 — восьмой динод, 5 — шестой динод, 6 — четвертый динод, 7 — второй динод, 8 — подфокусирующий электрод (цилиндр), 9 — первый фокусирующий электрод, 10 — фотокатод, 11 — второй фокусирующий электрод, 12 — первый динод, 13 — третий динод, 14 — пятый динод, 15 — седьмой динод, 16 — девятый динод, 17 — одиннадцатый динод, 18 — тринадцатый динод, 19 — экран, 20 — анод

ФЭУ-64



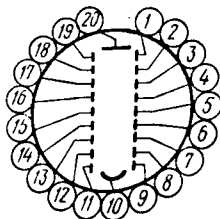
1 — фотокатод, 2 — фокусирующий электрод (диафрагма), 3 — первый динод, 4 — второй динод, 5 — третий динод, 6 — четвертый динод, 7 — пятый динод, 8 — шестой динод, 9 — седьмой динод, 10 — восьмой динод, 11 — девятый динод, 12 — десятый динод, 13 — одиннадцатый динод, 14 — анод

ФЭУ-65



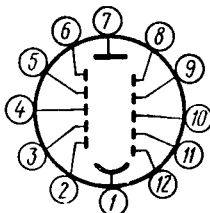
1 — второй динод, 2 — четвертый динод, 3 — шестой динод, 4 — восьмой динод, 5 — анод, 6 — седьмой динод, 7 — пятый динод, 8 — третий динод, 9 — первый динод, 10 — фотокатод

ФЭУ-67
ФЭУ-67А



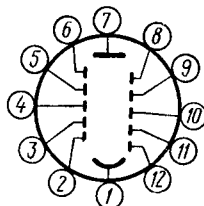
1 — четырнадцатый динод, 2 — двенадцатый динод, 3 — десятый динод, 4 — восьмой динод, 5 — шестой динод, 6 — четвертый динод, 7 — второй динод, 8 — подфокусирующий электрод (цилиндр), 9 — первый фокусирующий электрод, 10 — фотокатод, 11 — второй фокусирующий электрод, 12 — первый динод, 13 — третий динод, 14 — пятый динод, 15 — седьмой динод, 16 — девятый динод, 17 — одиннадцатый динод, 18 — тринадцатый динод, 19 — экран, 20 — анод

ФЭУ-68



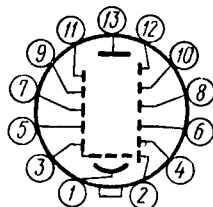
1 — фотокатод, 2 — второй динод, 3 — четвертый динод, 4 — шестой динод, 5 — восьмой динод, 6 — десятый динод, 7 — анод, 8 — девятый динод, 9 — седьмой динод, 10 — пятый динод, 11 — третий динод, 12 — первый динод

ФЭУ-69
ФЭУ-69Б



1 — фотокатод, 2 — второй динод, 3 — четвертый динод, 4 — шестой динод, 5 — восьмой динод, 6 — десятый динод, 7 — анод, 8 — девятый динод, 9 — седьмой динод, 10 — пятый динод, 11 — третий динод, 12 — первый динод

ФЭУ-71



1 — фотокатод, 2 — экран и первый динод, 3 — второй динод, 4 — третий динод, 5 — четвертый динод, 6 — пятый динод, 7 — шестой динод, 8 — седьмой динод, 9 — восьмой динод, 10 — девятый динод, 11 — десятый динод, 12 — одиннадцатый динод, 13 — анод

20. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ФОТОПРИБОРЫ

20.1. Термины и определения некоторых фотоэлектрических параметров и характеристик

Термины, определения и буквенные обозначения параметров и характеристик фоторезисторов, фотодиодов и фототранзисторов установлены ГОСТ 19852—74. К ним относятся:

Рабочее напряжение фотоприемника U_p — постоянное напряжение, приложенное к фотоприемнику, при котором обеспечива-

ются номинальные параметры при длительной его работе в заданных эксплуатационных условиях.

Максимально допустимое напряжение фотоприемника — максимальное значение постоянного напряжения, приложенного к фотоприемнику, при котором отклонение его параметров от номинальных значений не превышает указанных пределов при длительной его работе в заданных эксплуатационных условиях.

Кратность изменения сопротивления K_R — отношение темнового сопротивления фотоприбора к сопротивлению при определенном уровне освещенности (световому сопротивлению). Эта величина характеризует степень изменения сопротивления фотоприбора под действием света, т. е. чувствительность фотоприбора. При увеличении освещенности K_R возрастает, так как световое сопротивление уменьшается, а темповое сопротивление практически остается без изменений.

Допустимая мощность рассеяния — мощность, при которой не наступает необратимых изменений параметров фотоприбора в процессе его эксплуатации. Допустимая мощность рассеяния определяется при температуре окружающей среды $+20^\circ\text{C}$. Повышение температуры приводит к снижению допустимой мощности рассеяния.

При увеличении светового потока фототок прибора достигает своего установившегося значения не сразу, а через некоторый промежуток времени. Это же происходит и при прекращении или уменьшении светового потока, когда фототок достигает своего нового установившегося значения не сразу, а через определенный промежуток времени. Обычно нарастание фототока при увеличении освещенности происходит быстрее, чем его снижение при уменьшении освещенности.

Это явление называют инерционностью фотоприбора. Инерционность процесса нарастания (снижения) фототока оценивается временем t_f , в течение которого фототок изменяется на 63%, т. е. в e раз. Величину t_f называют постоянной времени.

Темновое сопротивление фотоприемника R_T — сопротивление фотоприемника в отсутствие падающего на него излучения в диапазоне его спектральной чувствительности.

Температурный коэффициент общего тока фотоприемника — изменение общего тока в процентах при повышении температуры на 1°C .

Световое сопротивление фотоприемника — сопротивление фотоприемника, измеренное через определенный интервал времени после начала воздействия излучения, создающего на нем облученность или освещенность заданного значения.

Темновой ток фотоприемника¹ I_T — ток, протекающий через фотоприемник при указанном напряжении на нем в отсутствие потока излучения в диапазоне спектральной чувствительности.

¹ Кроме равновесного теплового излучения при заданной температуре в его рабочей апертуре.

*Фототок фотоприемника*¹ — ток, протекающий через фотоприемник при указанном напряжении на нем, обусловленный только воздействием потока излучения с заданным спектральным распределением.

Общий ток фотоприемника — ток фотоприемника, состоящий из темнового тока и фототока.

Напряжение фотосигнала U_c — изменение напряжения на сопротивлении нагрузки, вызванное действием на фотоприемник излучения источника сигнала.

Чувствительность фотоприемника S — отношение изменения измеряемой электрической величины, вызванного падающим на фотоприемник излучением, к количественной характеристике этого излучения в заданных эксплуатационных условиях.

Максимум спектральной характеристики фотоприемника — длина волны, соответствующая максимуму спектральной характеристики фотоприемника.

Вольтовая чувствительность фототранзистора — отношение изменения напряжения на выходе фототранзистора к изменению потока (плотности потока) излучения при холостом ходе на входе и коротком замыкании на выходе по переменному току.

Коэффициент усиления по фототоку фототранзистора K_y , Φ — отношение фототока коллектора фототранзистора при отключенной базе к фототоку освещаемого $p-n$ -перехода, измеренному в диодном режиме.

Вольт-амперная характеристика фотоприемника $I(U)$ — зависимость электрического тока от напряжения, приложенного к фотоприемнику, при фиксированном потоке излучения.

Входная вольт-амперная характеристика фототранзистора $I_{вх}(U)$ — зависимость электрического тока от напряжения на входе фототранзистора при постоянном напряжении на выходе и фиксированном потоке излучения.

Выходная вольт-амперная характеристика фототранзистора $I_{вых}(U)$ — зависимость электрического тока от напряжения на выходе фототранзистора при фиксированном токе на входе и постоянном потоке излучения.

Вольтовая характеристика чувствительности фотоприемника $S(U)$ — зависимость чувствительности от напряжения, приложенного к фотоприемнику, при фиксированном потоке излучения света.

Частотная характеристика чувствительности фотоприемника $S(f)$ — зависимость чувствительности фотоприемника от частоты модуляции потока излучения.

Интегральная чувствительность фотоприемника $S_{инт}$ — чувствительность фотоприемника к немонахроматическому излучению заданного спектрального состава.

¹ Кроме равновесного теплового излучения при заданной температуре в его рабочей апертуре.

20.2. Фоторезисторы

Фоторезисторами называют приборы, электрическое сопротивление которых изменяется под действием лучистой энергии. В основе работы фоторезисторов лежит явление внутреннего фотоэффекта — уменьшение сопротивления полупроводникового материала под воздействием лучистой энергии. Возникающая при этом дополнительная электропроводность получила наименование фотопроводимости.

Механизм возникновения фотопроводимости можно пояснить следующим образом. При поглощении веществом квантов света валентные электроны получают дополнительную энергию.

Если энергия фотона $h\nu$ (h — постоянная Планка, ν — частота монохроматического излучения) равна ширине запрещенной зоны ΔW_z полупроводникового материала или превышает ее, валентный электрон перейдет в зону проводимости, т. е. станет «свободным» носителем заряда. Одновременно в заполненной зоне образуется дырка. Таким образом, один поглощенный фотон с энергией $h\nu \geq \Delta W_z$ освобождает пару электрон — дырка.

Освобожденные носители заряда существуют недолго и при наличии внешнего электрического поля могут перемещаться направленно, образуя электрический ток. В свободном состоянии фотоносители находятся примерно $10^{-3} \dots 10^{-7}$ с, после чего возвращаются в заполненную зону. При наличии непрерывного освещения полупроводника устанавливается динамическое равновесие, при котором число поступивших носителей заряда в зону проводимости становится равным числу носителей заряда, возвратившихся обратно в заполненную зону.

Внутренний фотоэффект возможен лишь тогда, когда $h\nu \geq \Delta W_z$. При $h\nu < \Delta W_z$ фотоэффект не возникает. Следовательно, для каждого светочувствительного материала существует своя граница фотоэффекта, при которой $h\nu_0 = \Delta W_z$, где ν_0 — минимальная частота, при которой еще возможен фотоэффект. Ее называют *граничной частотой фотоэффекта*, а соответствующую ей длину волны — *пороговой длиной волны фотопроводимости*.

Основным элементом конструкции фоторезистора является полупроводниковый светочувствительный слой, нанесенный на изолирующее основание. Технология нанесения светочувствительного слоя может быть различной. В большинстве случаев светочувствительный слой, а также металлические электроды наносятся путем испарения в вакууме. В качестве светочувствительного материала для производства фоторезисторов применяют соединения, обладающие свойствами полупроводников: сернистый свинец, селенистый кадмий, сернистый висмут, сернистый кадмий, селенид сурьмы, окись теллура и другие материалы. Роль изолирующего основания выполняют стекло, керамика, кварц, пластмассы и др. Светочувствительный элемент покрывают защитной пленкой и помещают в

пластмассовый или металлический корпус с окном для прохождения света.

Основой принципа действия фоторезисторов является образование дополнительных свободных носителей заряда светочувствительным элементом при поглощении им квантов энергии света. При включении фоторезистора в цепь и отсутствии освещения через него будет протекать незначительный ток, называемый *темновым*. При этом сопротивление фоторезистора обычно составляет сотни Ом. Это объясняется тем, что неосвещенный полупроводниковый материал фоторезистора обладает очень малым количеством свободных носителей заряда и его сопротивление сравнительно велико. Если же фоторезистор осветить, то число высвобожденных носителей заряда увеличится и сопротивление его уменьшится. В этом случае через фоторезистор будет протекать ток, значительно превышающий темновой ток и называемый *общим*.

Фоторезисторы обладают высокой чувствительностью к излучениям в широком диапазоне волн от инфракрасной области спектра до рентгеновских и гамма-лучей. Они просты по конструкции, стабильны в работе, имеют малые габариты и вес. Благодаря указанным преимуществам фоторезисторы широко применяют для контроля, автоматизации и регулирования производственных процессов. Они находят применение в самой разнообразной аппаратуре. Фоторезисторы широко применяются в полиграфической промышленности при обнаружении обрывов бумажной ленты, контроле за количеством листов, подаваемых в печатную машину. В измерительной технике фоторезисторы применяются для измерения высоких температур, для регулирования температуры в различных технологических процессах.

Электрические параметры фоторезисторов приведены в табл. 20.1.

20.3. Фотодиоды

Фотодиодами называют полупроводниковые приборы с $p-n$ -переходом, при освещении которых появляется ЭДС или изменяется величина обратного тока.

В основе принципа работы фотодиодов лежит *вентильный фотоэффект*. Последний возникает при освещении одной или обеих областей $p-n$ -перехода. Рассмотрим случай, когда освещается одна из областей $p-n$ -перехода, например n -область (рис. 20.1). При поглощении n -областью квантов энергии света в ней возникают новые носители заряда — пары электрон — дырка. При подходе к переходу возникшие пары разделяются: подхваченные полем диффузии дырки переходят в p -область, а электроны остаются в n -области. Вместе с ростом концентрации носителей заряда возрастает создаваемое ими электрическое поле, направленное против поля диффузии перехода. Возникшее поле будет препятствовать переходу дырок в p -область. Вместе с тем по мере возрастания этого по-

Табл. 20.1. Параметры фоторезисторов

Тип фоторезистора	Темновое сопротивление, МОм, не менее	Рабочее напряжение, В	Максимально допустимое напряжение, В	Общий ток, мкА, не менее	Кратность изменения сопротивления, не менее	Допустимая мощность рассеяния, Вт	Постоянная времени ¹ , мс, не более		Температурный коэффициент общего тока, %/°C, не более	Размер светочувствительной площадки, мм ²
							по нарастанию	по спаду		
СФ2-1	30	15	—	1000	2000	0,01	80	—	—	0,3×1,5
СФ2-2	4	2	10	1500	3000	0,05	60	—	—	(0,5×5)×13
СФ2-4	15	5	15	200	200	0,01	100	35	+0,3...-0,7	0,5×1,5
СФ2-5	1	1,3	6	500	400	0,025	20	50	-0,2...0,4	0,3×27
СФ2-8	100	100	150	1000	1000	0,125	25	20	±0,3	2×6
СФ2-9	3,3	25	100	250...900	33	0,125	50	30	±0,4	3,5×6
СФ2-12	15	5	15	200...1200	600	0,01	25	25	±0,2	0,5×1,5
СФ2-16	3,3	10	15	300	100	0,01	100	40	-0,9	0,2×2
СФ3-1	1500	15	—	1500	15·10 ⁴	0,01	60	—	—	0,3×1,5
СФ3-2	5	5	—	2000	1000	0,1	—	—	—	(1×4)×7
СФ3-5	2	2	—	500	500	0,05	10	—	-1,5	0,3×27
СФ3-8	20	20	—	500	—	0,025	10	—	1,5	2×6

¹ При освещенности 200 лк (для СФ2-4 и СФ2-12—300 лк).

ля возникнет обратное движение дырок в n -область, а электронов — в p -область. Как известно, освобожденные светом дырки являются неосновными для n -области, в p -области неосновными носителями заряда являются электроны. Следовательно, поле диффузии перехода способствует перемещению неосновных носителей в противоположные области, а возникшее поле концентрации способствует перемещению основных носителей.

Состояние равновесия наступит тогда, когда потоки носителей заряда, проходящие через переход в обоих направлениях, не станут равными. В это время между электродами p — n -перехода устанавливается некоторая разность потенциалов, называемая фото-ЭДС. Таким образом, в отличие от внутреннего вентильный фотоэффект сопровождается возникновением ЭДС, т. е. позволяет непосредственно преобразовать энергию света в электрическую энергию.

Материалом для изготовления фотодиодов служит германий, кремний, селен, сернистый галлий, сернистое серебро и др.

Устройство германиевого фотодиода ФД-3 показано на рис. 20.2,а. Его светочувствительным элементом служит пластина 1 n -германия. Одна ее сторона обращена к стеклянному окну 4, с другой стороны в нее вплавлена капля индия 2. В результате диффузии индия в n -германий образуется p — n -переход, являющийся основой фотодиода. Светочувствительный полупроводниковый материал помещен в металлический герметический корпус 3 с прозрачным окном 4.

Фотодиоды могут работать в двух режимах — фотогенераторном и фотодиодном. При работе фотодиода в режиме фотогенератора в n -области образуются новые носители заряда — пары электронов и дырок. Они диффундируют к переходу, и дырки втягиваются его полем в p -область. Электроны же через переход пройти не могут, поскольку поле перехода является для них тормозящим. Таким образом, если постоянно освещать фотодиод, то в p -области будет происходить накопление дырок, а в n -области — электронов, что приведет к возникновению на электродах фотодиода разности потенциалов. Ее поле направлено против поля диффузии перехода и, следовательно, уменьшает его. Ослабленный полем фото-ЭДС переход начнет пропускать основные носители заряда в противоположные области, что приведет к возникновению прямого тока через переход.

При разомкнутой внешней цепи увеличение прямого тока будет продолжаться до тех пор, пока поток неосновных носителей (дырок из n -области) не будет уравновешен потоком основных носителей и ток через переход станет равным нулю. Такое равновесие достигается при вполне определенной разности потенциалов между электродами (U_{xx}), возникшей под воздействием освещения.

Если к электродам фотодиода подключить резистор R_n (рис. 20.2,б), то через него будет протекать ток I_n .

Если электроды фотогенератора замкнуты накоротко, то разности потенциалов на них не возникает, прямой ток через переход отсутствует и все разделенные переходом носители заряда уходят во внешнюю цепь (режим короткого замыкания). В этом случае $I_n \gg I_y$ и во внешней цепи протекает максимальный ток $I_f \approx I_n$. При разомкнутой внешней цепи (режим холостого хода) $I_f \approx I_y$, где I_y — ток утечки через p - n -переход.

Фотодиод будет развивать фото-ЭДС около 0,1 В при освещенности более 8000 лк.

При работе фотодиода в режиме фотопреобразователя к нему приложено обратное напряжение (рис. 20.2,в). При отсутствии освещения через переход и нагрузочный резистор протекает обратный ток за счет неосновных носителей заряда (его можно назвать темновым током). Если же фотодиод осветить, то через него и нагрузочный резистор будет протекать дополнительный ток за счет высвобожденных светом носителей заряда. Суммарный ток через фотодиод и нагрузку будет состоять из обратного тока до освещения и добавочного тока за счет носителей заряда, высвобожденных светом.

Кремниевые фотодиоды имеют высокий КПД (8...10%), благодаря чему они нашли широкое применение в солнечных батареях для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую. Кремниевые фотодиоды ФДК-1 могут работать как в режиме фотогенератора, так и в фотодиодном режиме. Селеновые фотодиоды работают только в режиме фотогенератора. Кремниевые фотодиоды менее чувствительны к световому потоку, чем гер-

маниевые. Фотогенераторы имеют малое внутреннее сопротивление, поэтому их выгодно использовать в цепях с малым сопротивлением нагрузки (измерительные приборы, усилители с малым входным сопротивлением). Фотопреобразователи, напротив, обладая значительным внутренним сопротивлением, находят применение в цепях с большим сопротивлением нагрузки. Фотодиоды обладают значительным уровнем шумов, особенно на низких частотах, и он возрастает с увеличением напряжения питания и освещенности. Уровень шумов в режиме фотогенератора ниже, поэтому этот режим часто применяют при регистрации слабых низкочастотных световых сигналов.

Кремниевые фотодиоды менее инерционны, чем германиевые.

Промышленность выпускает фотодиоды на основе германия и кремния. Новыми типами материалов для фотогенераторов являются серно-таллиевые и сернисто-серебряные, перспективными — селен и мышьяковистый галлий, которые дешевле кремниевых и имеют более высокий КПД.

Помимо рассмотренных однопереходных фотодиодов, для фотосчитывания с перфоленты разработан специальный многоточечный фотодиод. Особенностью такого фотодиода является то, что в нем на одной пластине германия совмещены шесть $p-n$ -переходов (в соответствии с числом дорожек на стандартной телеграфной перфоленте); переходы образуются при впавлении шести индиевых электродов в пластину n -германия.

Электрические параметры фотодиодов приведены в табл. 20.2.

Табл. 20.2. Параметры фотодиодов

Тип фотодиода	U_p , В	I_T , мкА	$S_{\text{инт.}}$, мА/лм	S , мм	Габариты, мм		Долговечность, ч
					длина	диаметр	
ФД-1	15	30	> 20	5	18	8,2	500
ФД-2	30	25	10...20	1	2,2 × 10	15	500
ФД-3	10	10	20	2	9	3,85	100
ФД-3А	10	10	—	—	9	3,85	2000
ФД-4	20	3	3	2	—	—	—
ФД-5Г	15	8	—	—	10	8	—
ФД-6К	20	1	—	—	14	5,5	5000
ФД-7К	27	5	—	—	6,5	19,6	2000
ФД-9Э111А	10	10	—	—	17,1	8	—
ФД-9Э111Б	10	20	—	—	17,1	3	—
ФД-9Э111Г	10	25	—	—	17,1	8	—
ФД-9К	10	10	—	—	9	11	2000
ФДК-1	20	1	4	2	—	—	—
КФДМ	20	1	7	—	12	3,87	5000

20.4. Фототранзисторы

Фототранзисторами называют полупроводниковые приборы с $p-n$ -переходами, предназначенные для преобразования лучистой энергии и усиления фототока.

Устройство германиевого фототранзистора показано на рис.

20.3,а. Основным элементом его конструкции является пластина кристалла германия, в которую с обеих сторон вплавлены навески индия. В результате диффузии образуются два p — n -перехода и три области: эмиттер, база и коллектор. Фототранзистор помещен в герметичный металлический корпус с окном для прохождения света.

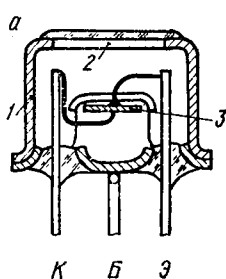


Рис. 20.3. Фототранзистор:
а — устройство; б — схема включения;
1 — корпус; 2 — окно; 3 — кристалл

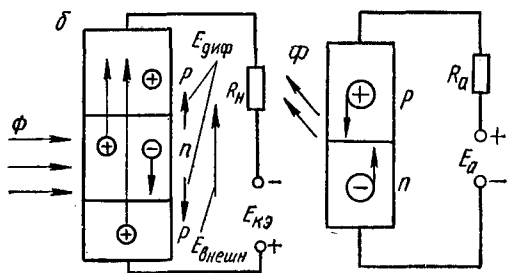


Рис. 20.4. Схема включения светодиода

Рассмотрим принцип действия фототранзистора при освещении базовой области (рис. 20.3,б). В отличие от обычного транзистора входным сигналом в фототранзисторе служит световой поток Φ . При отсутствии освещения в цепи протекает небольшой темновой ток, обусловленный носителями заряда, поступившими из эмиттера в коллектор. При поглощении базовой областью квантов световой энергии в ней образуются новые носители заряда — электроны и дырки, диффундируемые к переходам. Дырки свободно попадают в коллектор и эмиттер, поскольку поля диффузии коллекторного и эмиттерного переходов являются ускоряющими для них. Электроны же через переходы пройти не могут и накапливаются в базе. Накопление электронов в базе понижает ее потенциал, снижая тем самым высоту потенциального барьера эмиттерного перехода. Это вызывает резкий рост числа дырок, инжектируемых из эмиттера в базу. Большая часть дырок, инжектированных в базу, вытягивается в коллектор, меньшая часть их рекомбинирует в ней. В результате происходит увеличение тока коллектора по сравнению с током, образованным в цепи базы под действием света, и, следовательно, усиление фототока. Благодаря усилению фототока интегральная чувствительность фототранзисторов значительно выше, чем у фотодиодов.

Параметры фототранзисторов приведены в табл. 20.3.

20.5. Фототиристоры

Фототиристором называют фотоэлектрический полупроводниковый прибор с тремя или более p — n -переходами, на вольт-амперной характеристике которого имеется участок отрицательно дифференциального сопротивления.

Табл. 20.3. Параметры фототранзисторов

Тип фототранзистора	U_p , В	I_T , мкА	$S_{\text{фнт}}$, мА/лм	s , мм ²	Максимум спектральной чувствительности, нм	Область спектральной чувствительности, нм
ФТ-1	1...3	300	170...500	2	1500	400...1800
ФТ-1К	5	3	—	—	—	—
ФТГ-2	1...15	30	200...7000	—	1500	—
ФТГ-3	5	50	—	—	—	—

Структурная схема фототиристора аналогична структурной схеме обычного тиристора с той лишь разницей, что у фототиристора управляющей величиной является не ток, а световой поток. Тиристоры обладают двумя устойчивыми состояниями, соответствующими низкой и высокой проводимостям. Внешним управляющим сигналом, переключающим прибор в проводящее состояние, может быть ток, напряжение, температура или световой поток.

Принцип действия фототиристора аналогичен принципу действия обычного тиристора. Под воздействием светового потока в $p-p-p$ -структуре происходит генерация новых носителей заряда — электронно-дырочных пар, с ростом числа которых возрастает суммарный ток, протекающий через структуру.

Определения основных параметров фототиристора аналогичны приведенным в 16.3.

Фототиристор сочетает в себе качества тиристора (переключатель с двумя устойчивыми состояниями, имеющий большую нагрузочную способность при малой управляемой мощности, и высокое быстродействие) и полупроводникового фотоприемника (высокая световая чувствительность, полная развязка по электрической цепи). Эти качества позволяют применять их в схемах фотореле и преобразователей интенсивности излучения в различные электрические сигналы, логических схемах, где управляющим сигналом является световой поток, схемах релаксационных генераторов колебаний, управляемых светом, и т. д.

Электрические параметры фототиристора приведены в табл. 20.4.

20.6. Светодиоды

Светодиодом называют излучающий полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом, предназначенный для непосредственного преобразования электрической энергии в энергию некогерентного светового излучения.

Устройство светодиодов аналогично устройству фотодиодов. Структура их заключена в пластмассовый или металлический корпус с окном (линзой) для выхода излучения. При подаче на электронно-дырочный переход прямого напряжения (рис. 20.4) возникает инжекция неосновных носителей заряда через него и после-

Табл. 20.4. Параметры фототиристоров

Термины параметров	ТФ-5	ТФ-10	ТФ-100
Предельный ток, А	5	10	100
Номинальный ток, А	4,5	9	90
Номинальное напряжение, В	35...240	70...560	70...1120
Повторяющееся напряжение, В	50...300	100...700	100...1400
Неповторяющееся напряжение, В	50...300	100...780	100...1570
Прямое падение напряжения (среднее значение) при температуре окружающей среды 25°C, В, не более	0,75	0,8	0,9
Ток утечки и обратный ток, мА, не более	1	3	10
Ударный ток, А	100	150	1000
Защитный показатель I^2t , А ² ·с	50	110	5000
Критическая скорость нарастания прямого тока, А/мкс, не менее	100	100	75
Критическая скорость нарастания напряжения, В/мкс, не менее	1	2	1
Максимум спектральной чувствительности, нм		950	
Скорость охлаждающего воздуха, м/с	—	—	12
Габаритные размеры с охладителем, мм	100×100×37		100×96×133
Масса с охладителем, кг	0,22	0,22	1,5

Примечание Приборы могут управляться как от постоянного светового сигнала, так и от импульсного. Длительность импульса управления до 100 мс. Задержки времени включения — до 1,5...—2 мкс.

Источники света, пригодные для управления фототиристорами, — электрические лампы накаливания, импульсные газоразрядные лампы, полупроводниковые светодиоды на основе арсенида галлия, лазеры и другие источники, содержащие в своем спектре излучения длины волн в диапазоне 700...1100 нм.

дующая рекомбинация их с высвобождением энергии в виде излучения оптического диапазона волн. Основными характеристиками светодиодов являются: мощность или яркость излучения, эффективность преобразования электрической энергии в световую, вольт-амперные и спектральные характеристики, пространственное распределение излучения (диаграмма направленности).

Свойством к излучению в оптическом диапазоне волн обладают некоторые сложные полупроводниковые материалы, основой которых являются карбид кремния, галлий и мышьяк. Разработан ряд материалов, создающих излучение в различных областях спектра — инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой.

В настоящее время серийно выпускаются полупроводниковые светодиоды, работающие в видимой и инфракрасной областях спектра, цифровые полупроводниковые индикаторы. Разработан четырехслойный светодиод с тиристорной характеристикой.

Источниками видимого света являются *карбидокремниевые диффузионные светодиоды* типа КЛ101А...КЛ101В. Они предназначены для работы в аппаратуре широкого применения. Приборы оформлены в пластмассовом корпусе и имеют вес 0,05 г.

Эпитаксиальные фосфидогаллиевые светодиоды типа АЛ102А... АЛ102Г оформлены в металлическом корпусе; яркость излучения светодиода типа АЛ102В при прямом токе 30 мА достигает 50 кд/м², светодиода типа АЛ102А — 5 кд/м².

Светодиоды типа АЛ106 (А...В) являются *арсенидогаллиевыми мезадиффузионными светодиодами* и предназначены для работы в электронной аппаратуре широкого применения в качестве источников инфракрасного излучения. Полная мощность их излучения (при постоянном прямом токе 100 мА) достигает значений 0,6 мВт.

Твердотельные цифровые индикаторы представляют собой комбинацию определенного числа светодиодов (твердотельных полос) с общим анодом. Индикатор, содержащий семь таких полос, способен воспроизводить все цифры от 0 до 9 и некоторые буквы, всего 27 знаков. Это, например, светодиодный индикатор типа КЛ104А, предназначенный для визуальной индикации в аппаратуре широкого применения. Полупроводниковые светодиоды, применяемые в качестве индикаторов, обладают малыми габаритами и весом, повышенной экономичностью, продолжительным сроком службы, высоким быстродействием, устойчивостью к механическим воздействиям, допускают непосредственную связь с транзисторными устройствами.

Недостатками светодиодов являются значительный разброс характеристик от экземпляра к экземпляру и сильная температурная зависимость.

Полупроводниковые цифровые индикаторы целесообразно использовать в малогабаритной аппаратуре, устройствах вывода цифровой информации из вычислительных машин, системах контроля, цифровых измерительных приборах.

Электрические параметры излучающих диодов приведены в табл. 20.5, их определения даны в 8.3.

20.7. Оптоэлектронные приборы

Оптоэлектроникой называют новое направление электроники, занимающееся вопросами преобразования электрических сигналов в оптические и оптических — в электрические. Оптоэлектроника обладает широкими функциональными возможностями. Если в обычных радиоэлектронных устройствах и ЭВМ преобразование электрических сигналов, обработка и запоминание информации осуществляются в электрических цепях и магнитных элементах, то в оптоэлектронных устройствах такие процессы частично или даже полностью выполняются с помощью фотонов.

Простейшими оптоэлектронными приборами являются *оптроны* — полупроводниковые приборы, позволяющие осуществлять передачу сигнала только в прямом направлении. Другими словами, оптрон позволяет электрически изолировать друг от друга две части тракта передачи и исключить обратную связь с его выхода на вход. Ряд оптронов с успехом заменяют электромагнитные реле,

Табл. 20.5. Параметры излучающих (световых) диодов

Тип диода	B , кД/м ²	$U_{пр}$, В	P , мВт	λ , нм	$I_{пр, макс}$ ($I_{пр, н. макс}$), мА	$U_{обр, макс}$ ($U_{обр, н. макс}$), В	Диапазон рабочих температур, °С	Цвет свечения
КЛ101А	10	5,5	—	—	10	—	—10...+70	желтый
КЛ101Б	15	5,5	—	—	20	—	—10...+70	желтый
КЛ101В	20	5,5	—	—	40	—	—10...+70	желтый
2Л101А	10	5,0	—	—	10	—	—10...+70	желтый
2Л101Б	15	5,0	—	—	20	—	—10...+70	желтый
АЛ102А	5	3,2	—	—	10	(2)	—60...+70	красный
АЛ102Б	40	4,5	—	—	20	(2)	—60...+70	красный
АЛ102В	20	4,5	—	—	20	(2)	—60...+70	зеленый
АЛ102Г	10	3,0	—	—	10	(2)	—60...+70	красный
3Л102А	50	3,2	—	—	12	(2)	—60...+70	красный
3Л102Б	30	3,8	—	—	12	(2)	—60...+70	красный
3Л102Г	10	3,0	—	—	12	(2)	—60...+70	красный
АЛ103А	—	1,6	1	—	52	(2)	—40...+85	инфракрасный
АЛ103Б	—	1,6	0,6	—	52	(2)	—40...+85	инфракрасный
3Л103А	—	1,6	1	—	50	—	—60...+85	инфракрасный
3Л103Б	—	1,6	0,6	—	50	—	—60...+85	инфракрасный
КЛ104А	15	6,0	—	—	15	10	—10...+70	желтый
АЛ106А	—	1,7	0,2	920...935	120	—	—60...+85	инфракрасный
АЛ106Б	—	1,7	0,4	920...935	120	—	—60...+85	инфракрасный
АЛ106В	—	1,7	0,6	920...935	120	—	—60...+85	инфракрасный

Тип диода	B , кД/м ²	$U_{пр}$, В	P , мВт	λ , нм	$I_{пр, макс}$ ($I_{пр, н, макс}$), мА	$U_{обр, макс}$ ($U_{обр, н, макс}$), В	Диапазон рабочих температур, °С	Цвет свечения
АЛ107А	—	2,0	6,0	900...1200	100	—	—40...+85	инфракрасный
АЛ107Б	—	2,0	10	900...1200	100	—	—40...+85	инфракрасный
АЛ108А	—	1,35	1,5	—	110 (4000)	2	—60...+85	инфракрасный
ЗЛ108А	—	1,35	1,5	—	110 (4000)	2	—60...+85	инфракрасный
АЛ109А	—	1,2	0,2	—	22	—	—60...+85	инфракрасный
АЛ301А	10	3,0	—	—	11	—	—60...+70	красный
АЛ301Б	20	3,8	—	—	11	—	—60...+70	красный

их быстродействие на несколько порядков выше, чем электромагнитных реле и составляет $10^4 \dots 10^8$ Гц.

Оптрон содержит светодиод, оптическое излучение которого воздействует на светоприемник — фоторезистор, фототранзистор, фототиристор или другой светочувствительный элемент.

Наибольшее распространение получили следующие комбинации оптоэлектронных пар: светодиод — фоторезистор, светодиод — фотодиод, светодиод — фототранзистор и светодиод — фототиристор (рис. 20.5). Оба эти полупроводниковых элемента заключены в общий корпус. Выводы светодиода служат входом, выводы светоприемника — выходом оптрона. Управление величиной выходного сигнала оптрона осуществляется посредством изменения величины входного сигнала.

На базе оптоэлектроники могут быть созданы логические универсальные преобразователи, используемые в программирующих устройствах, в сложных системах автоматического управления производством. Оптоны могут быть применены в простых усилителях, требующих электрической развязки от остальных узлов устройства, в линейных усилителях малых сигналов.

Параметры оптронов делят на три группы: выходные, проходные и предельно допустимые.

Параметрами резисторных оптронов являются:

Выходные параметры

Темновое сопротивление R_T — выходное сопротивление оптрона (сопротивление фоторезистора) при входном токе, равном нулю.

Световое сопротивление R_c — выходное сопротивление прибора (сопротивление фоторезистора) при заданном значении входного тока.

Выходная емкость $C_{\text{вых}}$ — емкость между выводами фоторезистора.

Проходные параметры

Проходная емкость $C_{\text{прох}}$ — емкость между входом и выходом прибора.

Время включения $t_{\text{вкл}}$ — интервал времени, в течение которого ток в выходной цепи прибора увеличивается до 90% заданного установившегося значения с момента включения входного тока.

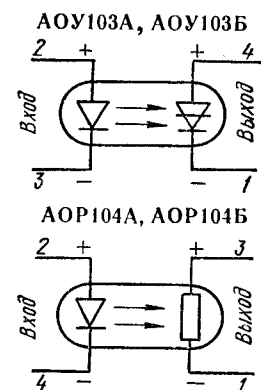


Рис. 20.5. Схемы включения оптронов

Время выключения $t_{\text{выкл}}$ — интервал времени, в течение которого ток в выходной цепи уменьшается до 50% от начальной величины с момента прекращения входного тока.

Сопротивление изоляции $R_{\text{изол}}$ — сопротивление между входом и выходом прибора.

Предельно допустимые параметры при длительной работе

Максимально допустимое значение прямого напряжения на входе $U_{\text{вх, макс}}$.

Максимально допустимое значение обратного импульсного напряжения на входе $U_{\text{обр, и, макс}}$.

Максимально допустимое значение прямого входного тока $I_{\text{вх, макс}}$.

Максимально допустимое коммутируемое напряжение $U_{\text{комм, макс}}$ — наибольшее действующее значение переменного напряжения, которое можно приложить к выходу прибора при $I_{\text{вх}} = 0$.

Максимально допустимое выходное напряжение $U_{\text{вык, макс}}$ — наибольшее значение постоянного напряжения, которое можно приложить к выходу прибора при $I_{\text{вх}} = 0$.

Максимально допустимый ток через фоторезистор при $I_{\text{вх}} = 11 \text{ мА}$.

Максимально допустимая мощность $P_{\text{макс}}$ — наибольшая мощность, рассеиваемая в фоторезисторе проходящим током, не вызывающая изменений параметров.

Электрические параметры тиристорных оптронов подразделяются на четыре группы.

Входные параметры

Напряжение на входе оптрона $U_{\text{вх}}$

Входной ток $I_{\text{вх}}$ — прямой ток через светодиод.

Входной номинальный ток $I_{\text{вх, ном}}$ — минимальное значение прямого входного тока, при котором оптрон переходит в открытое состояние, при заданном значении прямого напряжения на его выходе.

Выходные параметры

Ток утечки $I_{\text{ут}}$ — прямой ток через фототиристор, находящийся в закрытом состоянии.

Обратный ток фототиристора $I_{\text{ут, обр}}$.

Остаточное прямое напряжение на фототиристоре, находящемся в открытом состоянии $U_{\text{ост}}$.

Ток выключения $I_{\text{выкл}}$ — минимальное значение прямого тока, при котором фототиристор остается в открытом состоянии.

Выходная емкость фототиристора, находящегося в закрытом состоянии $C_{\text{вых}}$.

Проходные параметры

Пропускная емкость $C_{\text{прох}}$ — емкость между входными и выходными выводами прибора.

Сопротивление изоляции между входными и выходными выводами прибора $R_{\text{изол}}$.

Время выключения $t_{\text{выкл}}$ — минимальное время между моментом, когда прямой ток в выходной цепи становится равным нулю или его направление меняется с прямого на обратное, и моментом, когда на прибор можно подавать напряжение $U_{\text{пр. макс}}$ с максимальной скоростью увеличения, которое не переключает прибор в открытое состояние.

Время включения $t_{\text{вкл}}$ — время с момента подачи импульса входного тока с заданными параметрами, в течение которого выходной ток прибора при активной нагрузке достигает 90% заданного установившегося значения.

Предельно допустимые параметры при длительной работе

Максимально допустимое значение входного напряжения при максимально допустимом входном токе $U_{\text{вх, макс}}$.

Максимально допустимое значение входного прямого тока $I_{\text{вх, макс}}$.

Максимально допустимый ток помехи $I_{\text{пом, макс}}$ — максимальное значение постоянного или амплитуды прямого тока на входе, не вызывающее переключения оптрона из закрытого состояния в открытое.

Максимально допустимое значение постоянного или амплитуды прямого напряжения (при разомкнутой входной цепи и допустимой скорости нарастания напряжения на выходе), при котором прибор остается в закрытом состоянии $U_{\text{пр, макс}}$.

Максимально допустимое значение постоянного напряжения или амплитуды обратного напряжения на фототиристоре $U_{\text{обр, макс}}$.

Максимально допустимое значение среднего прямого тока через фототиристор $I_{\text{пр, макс}}$.

Максимально допустимая скорость нарастания прямого напряжения, при которой фототиристор остается в закрытом состоянии dU/dt (измеряется при $I_{\text{вх}}=0$).

Отечественной промышленностью разработаны и выпускаются резисторные оптроны серии АОР104 и тиристорные оптроны серии АОУ103. Они представляют собой комбинацию из фосфидогаллиевых эпитаксиальных светодиодов и фоторезисторов, изготовленных из сернистого и селенистого кадмия по пленочной технологии.

Тиристорные оптроны содержат арсенидогаллиевые эпитаксиально-планарные светодиоды и кремниевые диффузионные фототиристоры структуры $p-n-p-n$ с прямой оптической связью между ними. Конструкция их аналогична конструкции резисторных оптронов.

Электрические параметры резисторных оптронов приведены в табл. 20.6, тиристорных — в табл. 20.7.

Табл. 20.6. Параметры резисторных оптронов

Буквенные обозначения параметров		АОР104А	АОР104Б	Режим измерения
выходных	R_T , МОм, не более	250	250	$I_{ВХ}=0$
	R_C , кОм, не более	100	50	$I_{ВХ}=10$ мА
	$C_{ВЫХ}$, пФ, не более	3	3	—
проходных	$C_{ПРОХ}$, пФ, не более	3	3	$I_{ВХ, И}=10$ мА
	$t_{ВКЛ}$, мс, не более	10	10	$f=400$ Гц
	$t_{ВЫКЛ}$, мс, не более	200	100	$U_{КОММ}=220$ В
	$R_{ИЗОЛ}$, МОм, не менее	100	100	$C_{НАГР}=100 \pm 10$ нФ
предельно допустимых эксплуатационных	$U_{ВХ}$, макс, В	3,8	2,8	при $t_{ОКР} \leq 40^\circ\text{C}$ при $t_{ОКР} \leq 40^\circ\text{C}$
	$U_{ОБР, И}$, макс, В	2	2	
	$I_{ВХ}$, макс, мА	11	11	
	$U_{КОМ. I}$, макс, В	250	250	
	$U_{ВЫХ}$, макс, В	250	250	
	$I_{ВЫХ}$, макс, мА	0,3	0,7	
	$P_{ВЫХ}$, макс, мВт	25	25	
	Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	$-50 \dots +65$	$-50 \dots +65$	
Назначение		Коммутация цепей переменного тока с частотой до 1,5 кГц	Цифровые и знаковые индикаторы	

Табл. 20.7. Параметры тиристорных оптронов

Буквенные обозначения параметров		АОУ103А	АОУ103Б	АОУ103В
Входных	$I_{ВХ}$, ном, мА, не более	20	50	20
выходных	$I_{УТ}$, мА, не более	0,1	0,1	0,1
	$I_{УТ, ОБР}$, мА, не более	не регламентируется		0,1
	$I_{ВЫКЛ}$, мА, не более	10	10	10
	$U_{ОСТ}$, В, не более	2	2	2
	$C_{ВЫХ}$, пФ, не более	20	20	20
проходных	$C_{ПРОХ}$, пФ, не более	3	3	3
	$R_{ИЗОЛ}$, МОм, не менее	10	10	10
	$t_{ВКЛ}$, мкс, не более	15	15	15
	$t_{ВЫКЛ}$, мкс, не более	100	100	100

Продолжение табл. 20.7

Буквенные обозначения параметров		АОУ103А	АОУ103Б	АОУ103В
предельно допустимых эксплуатационных	$U_{вх}$, макс, В	2	2	2
	$I_{вх}$, макс, мА	55	55	55
	$I_{пом}$, макс, мА	0,5	0,5	0,5
	$U_{пр}$, макс, В	50	200	200
	$U_{обр}$, макс, В	не регламентируется		200
	$I_{пр}$, макс, мА	100	100	100
	dU/dt , В/мкс	5	5	5
Диапазон рабочих температур, °С		-60...+70	-60...+70	-60...+70

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

21. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

21.1. Классификация и система условных обозначений

Микросхемой называют микроэлектронное изделие, имеющее эквивалентную плотность монтажа не менее пяти элементов в 1 см³ объема, занимаемого схемой, и рассматриваемое как единое конструктивное целое.

Интегральной микросхемой называют микросхему, все (или часть) элементы которой нераздельно связаны и электрически соединены между собой так, что устройство рассматривается как единое целое.

По конструктивно-технологическому исполнению интегральные микросхемы подразделяют на три группы, которым присвоены следующие обозначения (ГОСТ 18682—73):

1; 5; 7 — полупроводниковые;

2; 4; 6; 8 — гибридные;

3 — прочие (пленочные, вакуумные, керамические и т. д.).

По функциональному назначению интегральные микросхемы подразделяют на подгруппы и виды, указанные в табл. 21.1.

Полупроводниковой интегральной микросхемой называют интегральную микросхему, элементы которой выполнены в объеме и (или) на поверхности полупроводникового материала.

Пленочной интегральной микросхемой называют интегральную микросхему, элементы которой выполнены в виде пленок, нанесенных на поверхность диэлектрического материала.

Тонкопленочной интегральной микросхемой называют пленочную интегральную микросхему с толщиной пленок до 1 мкм. Элементы тонкопленочной интегральной микросхемы наносятся преимущественно методами термовакuumного осаждения и катодного распыления.

Толстопленочной интегральной микросхемой называют пленочную интегральную микросхему с толщиной пленок свыше 1 мкм.

Гибридной интегральной микросхемой называют интегральную микросхему, часть элементов которой имеет самостоятельное конструктивное оформление.

Тип интегральной микросхемы — микросхема, предназначенная для выполнения конкретного функционального назначения (ГОСТ 18725—73).

Анализ и синтез логических цепей производится на основе математического аппарата *алгебры логики* (булевой алгебры). Алгебра логики позволяет не только описывать логические связи между различными узлами цифровых устройств, но и преобразовывать их, позволяя реализовать устройства на функционально различных типах элементарных схем.

В алгебре логики переменные (функции и аргументы) могут принимать только два значения: 0 и 1.

Над переменными могут производиться три основных действия: логическое сложение, логическое умножение и логическое отрицание, соответствующие логическим функциям «ИЛИ», «И», «НЕ». *Операция логического сложения, называемая дизъюнкцией*, обозначается знаком «+» или «V» (первая буква латинского слова *vel* — или). Логическая сумма равна единице тогда, когда равно единице одно или несколько слагаемых:

$$0+0=0; 0+1=1; 1+1+1\ldots+1=1.$$

Операция логического умножения («И»), называемая конъюнкцией, обозначается точкой или знаком «^», или никак не обозначается (в буквенных выражениях). Например, $0\cdot 0=0$; $0\cdot 1=0$; $1\cdot 1=1$.

Логическое отрицание, называемое инверсией, обозначается чертой или штрихом над обозначением аргумента. Например, инверсия единицы равна нулю, инверсия нуля равна единице, а двойная инверсия не изменяет значение переменной:

$$\overline{0}=1, \overline{1}=0, \overline{\overline{0}}=0, \overline{\overline{1}}=1.$$

Физическая реализация функций может быть выполнена в виде электронных схем. Простейшие электронные схемы, реализующие элементарные передаточные функции (НЕ, И, ИЛИ, ИЛИ—НЕ, И—НЕ), называют логическими элементами.

В справочнике рассматриваются цифровые интегральные схемы на уровне функциональных схем (ФС) и приводится их функциональное обозначение. За основу приняты обозначения ЕСКД (единая система конструкторской документации). Согласно ЕСКД, логический элемент обозначается прямоугольником, внутри которого указывается символ, характеризующий выполняемую функцию (табл. 21.2). Например, символ, обозначающий в английском языке союз энд, характеризует функцию «И», символ 1 — функцию «ИЛИ». Инверсия по входу (выходу) функционального элемента обозначается кружком на входе (выходе) прямоугольника. Триггеры также обозначаются прямоугольником, внутри которого пишется буква, показывающая тип триггера (см. табл. 21.1).

21.2. Типы корпусов

Интегральные микросхемы выполняются в корпусах, типы, габаритные и присоединительные размеры и условные обозначения которых установлены ГОСТ 17467—72. По форме проекции тела корпуса на плоскость основания и расположению выводов корпуса делят на четыре основных типа.

Табл. 21.2. Условные обозначения основных логических элементов

Схема «И»

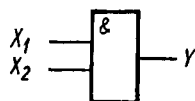


Схема «ИЛИ»

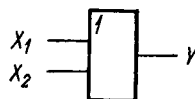
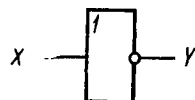
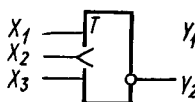


Схема «НЕ»



Триггер



X_1 — установка 1
 X_3 — установка 0
 Y_1 — выход 1
 Y_2 — выход 0
 X_2 — счетный вход

Корпусы типов 1, 2 и 4 в проекции на плоскость основания имеют прямоугольную форму, а корпуса типа 3 аналогичны по форме корпусам маломощных транзисторов, differing from the latter by a larger number of pins (8 or 12). The arrangement of pins relative to the base plane is perpendicular for types 1, 2 and 3, and parallel for type 4. Microschematics, belonging to one and the same type, can differ in size, number of pins and their arrangement. Pin numbering in microschematics in type 1 packages with pins arranged in one row (fig. 21.1), is done from the label on the package from left to right. In microschematics in type 1 packages with pins arranged by the sides of the square inscribed in the base of the package, pins are numbered from the label on the package clockwise. Pin numbering in microschematics in type 2 packages is done from the label on the package from left to right, and in another row it continues from right to left. In a type 3 package microscheme pin numbering is done from the label clockwise. In a type 4 package microscheme pin 1 is expanded at the exit from the package. From this pin numbering is done from left to right, and in another row it continues from right to left. Types of packages, given in the series microscheme reference, are given in table 21.3.

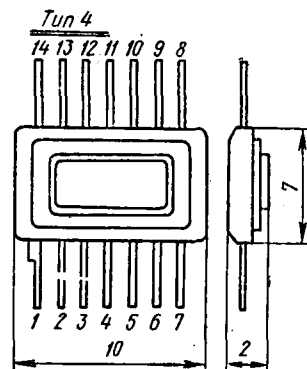
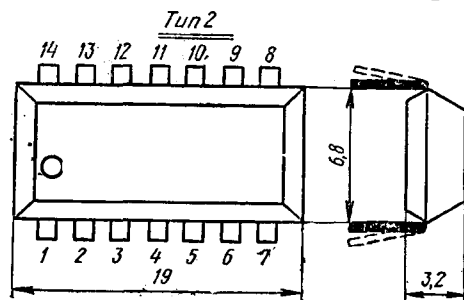
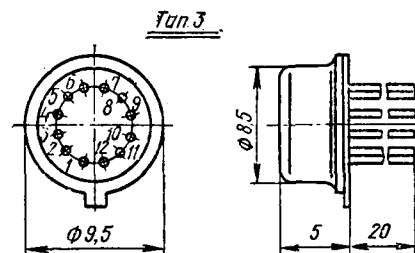
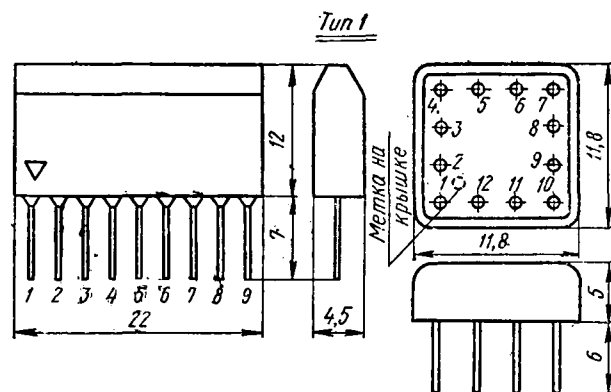


Рис. 21.1. Типы корпусов интегральных микросхем

Табл. 21.3. Типы корпусов интегральных микросхем

Серия	Тип корпуса	Количество выводов	Серия	Тип корпуса	Количество выводов
K101	3	8	K173	3	12
K104	4	14	K201	1	12
K106	4	14	K202	1	12
K113	4	14	K204	1	14
K114	1	12	K205	1	14
K120	4	14	K215	1	12
K122	3	12	K217	1	12
K123	4	14	K218	1	14
K133	4	14	K224	1	9
K140	3	12	K228	1	14
K118	3	14	K237	2	14
K147	4	14	K243	1	12
K172	2	14			

21.3. Термины, определения и буквенные обозначения параметров интегральных микросхем

В соответствии с ГОСТ 19480—74 к основным параметрам микросхем относятся:

Максимальное входное напряжение $U_{\text{вх, макс}}$ — наибольшее значение входного напряжения интегральной микросхемы, при котором выходное напряжение соответствует заданному значению.

Минимальное входное напряжение $U_{\text{вх, мин}}$ — наименьшее значение входного напряжения интегральной микросхемы, при котором выходное напряжение соответствует заданному значению.

Чувствительность S — наименьшее значение входного напряжения, при котором электрические параметры интегральной микросхемы соответствуют заданным значениям.

Диапазон входных напряжений $\Delta U_{\text{вх}}$ — интервал значений напряжений от минимального входного напряжения до максимального.

Входное напряжение покоя $U_{\text{о, вх}}$ — значение напряжения на входе интегральной микросхемы при отсутствии входного сигнала.

Выходное напряжение покоя $U_{\text{о, вых}}$ — значение напряжения на выходе интегральной микросхемы при отсутствии входного сигнала.

Входное напряжение ограничения $U_{\text{огр, вх}}$ — наименьшее значение входного напряжения интегральной микросхемы, при котором наступает ограничение выходного напряжения.

Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ — значение напряжения на входе интегральной микросхемы в заданном режиме.

Напряжение смещения $U_{\text{см}}$ — значение напряжения постоянно-го тока на входе интегральной микросхемы, при котором выходное напряжение равно нулю.

Синфазные входные напряжения $U_{\text{сф, вх}}$ — значение напряже-

ний между каждым из входов интегральной микросхемы и общим выводом, амплитуды и фазы которых совпадают.

Максимальные синфазные входные напряжения $U_{\text{сф, вх, макс}}$ — значения синфазных входных напряжений, при которых параметры интегральной микросхемы изменяются на заданное значение.

Максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых, макс}}$ — наибольшее значение выходного напряжения, при котором изменения параметров интегральной микросхемы соответствуют заданным значениям.

Минимальное выходное напряжение $U_{\text{вых, мин}}$ — наименьшее значение выходного напряжения, при котором изменения параметров интегральной микросхемы соответствуют заданным значениям.

Выходное напряжение баланса $U_{\text{вых, бл}}$ — значение напряжения постоянного тока на каждом выходе интегральной микросхемы относительно общего вывода, когда напряжение между выходами равно нулю.

Приведенное ко входу напряжение шумов $U_{\text{ш, вх}}$ — отношение напряжения собственных шумов на выходе интегральной микросхемы при закороченном входе к коэффициенту усиления напряжения.

Остаточное напряжение $U_{\text{ост}}$ — падение напряжения на выходе пороговой схемы в открытом состоянии.

Напряжение срабатывания $U_{\text{срб}}$ — наименьшее значение напряжения постоянного тока на входе, при котором происходит переход интегральной микросхемы из одного устойчивого состояния в другое.

Напряжение отпускания $U_{\text{отп}}$ — наибольшее значение напряжения постоянного тока на входе, при котором происходит переход интегральной микросхемы из одного устойчивого состояния в другое.

Минимальное прямое напряжение на переходах $U_{\text{пр, мин}}$ — наименьшее значение падения напряжения на переходах интегральной микросхемы, при котором обеспечивается заданное значение электрических параметров интегральной микросхемы.

Максимальное обратное напряжение на переходах $U_{\text{обр, макс}}$ — наибольшее значение падения напряжения на переходах интегральной микросхемы при протекании обратного тока.

Напряжение источника питания интегральной микросхемы $U_{\text{и.п.}}$

Максимальная амплитуда импульсов входного напряжения $U_{\text{вх, А, макс}}$ — наибольшее амплитудное значение импульсов напряжения на входе интегральной микросхемы, при котором искажение формы импульсов выходного напряжения не превышает заданного значения.

Максимальная амплитуда импульсов выходного напряжения $U_{\text{вых, А, макс}}$ — наибольшее амплитудное значение импульсов напряжения на выходе интегральной микросхемы, при котором искажение формы импульсов выходного напряжения не превышает заданного значения.

Напряжение логической единицы U^1 — значение высокого уровня напряжения для «положительной» логики и значение низкого уровня напряжения для «отрицательной» логики.

Напряжение логического нуля U^0 — значение низкого уровня напряжения для «положительной» логики и значение высокого уровня напряжения для «отрицательной» логики.

Пороговое напряжение логической единицы $U^1_{\text{пор}}$ — наименьшее значение высокого уровня напряжения для «положительной» логики или наибольшее значение низкого уровня напряжения для «отрицательной» логики на входе интегральной микросхемы, при котором происходит переход интегральной микросхемы из одного устойчивого состояния в другое.

Пороговое напряжение логического нуля $U^0_{\text{пор}}$ — наибольшее значение низкого уровня напряжения для «положительной» логики или наименьшее значение высокого уровня напряжения для «отрицательной» логики на входе интегральной микросхемы, при котором происходит переход интегральной микросхемы из одного устойчивого состояния в другое.

Входной ток $I_{\text{вх}}$ — значение тока, протекающего во входной цепи интегральной микросхемы в заданном режиме.

Разность входных токов $\Delta I_{\text{вх}}$ — разность значений токов, протекающих через входы интегральной микросхемы в заданном режиме.

Выходной ток $I_{\text{вых}}$ — значение тока, протекающего в цепи нагрузки интегральной микросхемы в заданном режиме.

Максимальный выходной ток $I_{\text{вых, макс}}$ — наибольшее значение выходного тока, при котором обеспечиваются заданные параметры интегральной микросхемы.

Минимальный выходной ток $I_{\text{вых, мин}}$ — наименьшее значение выходного тока, при котором обеспечиваются заданные параметры интегральной микросхемы.

Входной ток логической единицы $I^1_{\text{вх}}$.

Входной ток логического нуля $I^0_{\text{вх}}$.

Выходной ток логической единицы $I^{10}_{\text{вых}}$.

Выходной ток логического нуля $I_{\text{вых}}$.

Ток утечки на входе $I_{\text{ут, вх}}$ — значение тока во входной цепи интегральной микросхемы при закрытом состоянии входа и заданных режимах на остальных выводах.

Ток утечки на выходе $I_{\text{ут, вых}}$ — значение тока в выходной цепи интегральной микросхемы при закрытом состоянии выхода и заданных режимах на остальных выводах.

Входной ток покоя $I_{\text{вх, 0}}$ — значение тока, протекающего во входной цепи интегральной микросхемы при отсутствии входного сигнала.

Выходной ток покоя $I_{\text{вых, 0}}$ — значение тока, протекающего в выходной цепи интегральной микросхемы при отсутствии входного сигнала.

Ток потребления $I_{\text{пот}}$ — значение тока, потребляемого интегральной микросхемой, от источников питания в заданном режиме.

Ток потребления в состоянии логической единицы $I^1_{\text{пот}}$.

Ток потребления в состоянии логического нуля $I_{\text{пот}}^0$.

Средний ток потребления $I_{\text{пот, ср}}$ — значение тока, равное полусумме токов, потребляемых логической интегральной микросхемой от источников питания в двух различных устойчивых состояниях.

Ток короткого замыкания $I_{\text{к.з}}$ — значение тока, потребляемого интегральной микросхемой при закороченном выходе.

Ток холостого хода $I_{\text{хх}}$ — значение тока, потребляемого интегральной микросхемой при отключенной нагрузке.

Потребляемая мощность $P_{\text{пот}}$ — значение мощности, потребляемой интегральной микросхемой, работающей в заданном режиме, от источников питания.

Максимальная потребляемая мощность $P_{\text{пот, макс}}$ — значение потребляемой мощности интегральной микросхемы в предельном режиме потребления.

Потребляемая мощность в состоянии логической единицы $P_{\text{пот}}^1$.

Потребляемая мощность в состоянии логического нуля $P_{\text{пот}}^0$.

Средняя потребляемая мощность $P_{\text{пот, ср}}$ — значение мощности, равное полусумме мощностей, потребляемых логической интегральной микросхемой от источников питания в двух различных устойчивых состояниях.

Выходная мощность $P_{\text{вых}}$ — значение мощности сигнала, выделяемой на нагрузке интегральной микросхемы в заданном режиме.

Рассеиваемая мощность $P_{\text{рас}}$ — значение мощности, рассеиваемой интегральной микросхемой, работающей в заданном режиме.

Нижняя граничная частота полосы пропускания $f_{\text{н}}$ — наименьшее значение частоты, на которой коэффициент усиления интегральной микросхемы уменьшается на 3 дБ от значения на заданной частоте.

Верхняя граничная частота полосы пропускания $f_{\text{в}}$ — наибольшее значение частоты, на которой коэффициент усиления интегральной микросхемы уменьшается на 3 дБ от значения на заданной частоте.

Полоса пропускания Δf — диапазон частот между верхней и нижней граничными частотами полосы пропускания.

Время задержки импульса $t_{\text{зт}}$ — интервал времени между фронтами входного и выходного импульсов интегральной микросхемы, измеренный на заданном уровне напряжения или тока.

Время нарастания выходного напряжения $t_{\text{нар}}$ — интервал времени, в течение которого выходное напряжение интегральной микросхемы изменяется с первого достижения уровня 0,1 до первого достижения уровня 0,9 установившегося значения.

Время установления выходного напряжения $t_{\text{уст}}$ — интервал времени, в течение которого выходное напряжение интегральной микросхемы изменяется с первого достижения уровня 0,1 до последнего достижения уровня 0,9 установившегося значения.

Время перехода из состояния логической единицы в состояние логического нуля $t_{1,0}$ — интервал времени, в течение которого на-

пряжение на выходе интегральной микросхемы переходит от напряжения логической единицы к напряжению логического нуля, измеренный на уровнях 0,1 и 0,9 или на заданных значениях напряжения.

Время перехода из состояния логического нуля в состояние логической единицы $t^{0,1}$ — интервал времени, в течение которого напряжение на выходе интегральной микросхемы переходит от напряжения логического нуля к напряжению логической единицы, измеренный на уровнях 0,1 и 0,9 или на заданных значениях напряжения.

Время задержки включения $t_{зд}^{1,0}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе интегральной микросхемы от напряжения логической единицы к напряжению логического нуля, измеренный на уровне 0,1 или на заданных значениях напряжения.

Время задержки выключения $t_{зд}^{0,1}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе интегральной микросхемы от напряжения логического нуля к напряжению логической единицы, измеренный на уровне 0,9 или на заданных значениях напряжения.

Время задержки распространения сигнала при включении интегральной микросхемы $t_{зд,р}^{1,0}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе интегральной микросхемы от напряжения логической единицы к напряжению логического нуля, измеренный на уровне 0,5 или на заданных значениях напряжения.

Время задержки распространения сигнала при выключении интегральной микросхемы $t_{зд,р}^{0,1}$ — интервал времени между входным и выходным импульсами при переходе напряжения на выходе интегральной микросхемы от напряжения логического нуля к напряжению логической единицы или на заданных значениях напряжения.

Среднее время задержки распространения сигнала логической интегральной микросхемы $t_{зд,р,ср}$ — интервал времени, равный полусумме времен задержки распространения сигнала при включении и выключении логической интегральной микросхемы.

Время хранения информации при отключении напряжения питания $t_{хр}$ — интервал времени с момента отключения источника питания интегральной микросхемы, в течение которого записанная информация сохраняется с заданными параметрами.

Время считывания информации $t_{сч}$ — интервал времени между фронтами адресного и считанного сигналов интегральной микросхемы, измеренный на заданных уровнях в заданном режиме.

Время записи информации $t_{зп}$ — интервал времени между началом адресного сигнала и появлением записанной информации на выходе интегральной микросхемы, измеренный на заданных уровнях.

Время восстановления после считывания $t_{вос}$ — интервал вре-

мени между концами адресного и считанного сигналов интегральной микросхемы, измеренный на заданных уровнях.

Коэффициент усиления напряжения $K_{y, u}$ — отношение выходного напряжения интегральной микросхемы к входному напряжению.

Коэффициент усиления тока $K_{y, i}$ — отношение выходного тока интегральной микросхемы к входному току.

Коэффициент усиления мощности K_y — отношение выходной мощности интегральной микросхемы к входной мощности.

Коэффициент нелинейности амплитудной характеристики $K_{нл, A}$ — наибольшее отклонение значения крутизны амплитудной характеристики интегральной микросхемы относительно значения крутизны амплитудной характеристики, изменяющейся по линейному закону.

Коэффициент прямоугольности амплитудно-частотной характеристики K_p — отношение полосы частот интегральной микросхемы на уровне 0,01 или 0,001 к полосе пропускания на уровне 0,7.

Коэффициент неравномерности амплитудно-частотной характеристики $K_{нр, Aч}$ — отношение максимального значения выходного напряжения интегральной микросхемы к минимальному значению в заданном диапазоне частот полосы пропускания, выраженное в децибелах.

Коэффициент объединения по входу $K_{об}$ — число входов интегральной микросхемы, по которым реализуется логическая функция.

Коэффициент разветвления по выходу $K_{раз}$ — число единичных нагрузок, которое можно одновременно подключить к выходу интегральной микросхемы.

Примечание. Единичной нагрузкой является один вход основного логического элемента данной серии интегральных микросхем.

Относительный диапазон автоматической регулировки усиления по напряжению $\Delta U_{АРУ\text{ отн}}$ — отношение наибольшего значения коэффициента усиления напряжения к наименьшему его значению при изменении входного напряжения в заданных пределах.

Относительный диапазон автоматической регулировки усиления по току $\Delta I_{АРУ\text{ отн}}$ — отношение наибольшего значения коэффициента усиления тока к наименьшему его значению при изменении входного напряжения интегральной микросхемы в заданных пределах.

Относительный диапазон автоматической регулировки усиления по мощности $\Delta P_{АРУ\text{ отн}}$ — отношение наибольшего значения коэффициента усиления мощности к наименьшему его значению при изменении входного напряжения интегральной микросхемы в заданных пределах.

Коэффициент гармоник K_g — отношение среднеквадратического напряжения суммы всех, кроме первой, гармоник сигнала интегральной микросхемы к среднеквадратическому напряжению первой гармоники.

Табл. 22.1. Параметры микросхем серии К104

Термины параметров	К1ЛИО41 К1ЛИО42 К1ЛИО43 К1ЛИО44 К1ЛИО45	К1ЛБО41 К1ЛБО42 К1ЛБО43 К1ЛБО44	К1НДО41 К1НДО42 К1НДО43 К1НДО44
Вид микросхемы	Логические элементы «И»	Логические элементы «И—НЕ» с расширением по «И» и «ИЛИ»	Диодные сборки
Количество входов	2; 3; 4; 2×3 ; 2×4	1; 2; 3×4 ;	3; 4; 2×3 ; 2×4
Назначение и технология изготовления	Вычислительные и цифровые устройства. Схемы диодно-транзисторных логических элементов выполнены по планарно-эпитаксиальной технологии на основе кремния.		
Напряжение источника питания, В $\pm 10\%$	+6,3	+6,3; -2,4 +3	—
Обратное напряжение входных диодов, В	4,5	—	4,5
Прямое напряжение на входных диодах, В	0,55...0,9	—	0,55...0,9
Прямое напряжение на переходе база—эмиттер транзистора, В	0,55...0,9	—	—
Входной ток схемы, мА	2,2	—	—
Мощность потребления, мВт	—	20	—
Напряжение логической единицы, В	—	2,6	—
Напряжение логического нуля, В	—	0,5	—
Время задержки распространения, нс	—	130	—
Время задержки включения при $C_H = 50$ пФ, нс, не более	—	170	—
Коэффициент разветвления по выходу	—	5	—
Коэффициент объединения по входу:			
«И»	—	4	—
«ИЛИ»	—	3	—

Входное сопротивление $R_{вх}$ — величина, равная отношению приращения входного напряжения интегральной микросхемы к приращению активной составляющей входного тока при заданном значении частоты сигнала.

Выходное сопротивление $R_{вых}$ — величина, равная отношению приращения выходного напряжения интегральной микросхемы к вызвавшей его активной составляющей выходного постоянного или синусоидального тока при заданном значении частоты сигнала.

Входная емкость $C_{вх}$ — величина, равная отношению емкостной реактивной составляющей входного тока интегральной микросхемы к произведению круговой частоты на синусоидальное входное напряжение микросхемы при заданном значении частоты сигнала.

Выходная емкость $C_{вых}$ — величина, равная отношению емкостной реактивной составляющей выходного тока интегральной микросхемы к произведению круговой частоты на вызванное им выходное напряжение при заданном значении частоты сигнала.

22. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

22.1. Цифровые интегральные микросхемы

Цифровые микросхемы используются в устройствах дискретной обработки информации электронных вычислительных машин (ЭВМ), системах автоматики и т. п. Они предназначены для создания логических и арифметических устройств, а также счетчиков, регистров, распределителей, сумматоров, дешифраторов и других узлов дискретной автоматики.

Электрические параметры цифровых ИС серий К104, К106, К113, К114, К120, К133, К147, К155, К172, К201, К202, К204, К205, К215, К217 и К243 приведены в табл. 22.1...22.17. Назначения выводов приведены в табл. 22.18, функциональные схемы ИС серий К106, К120, К133, К155, К172 и К178 показаны на рис. 22.1.

22.2. Аналоговые интегральные микросхемы

Аналоговые ИС предназначены для генерирования, усиления и формирования непрерывных или импульсных электрических сигналов. Поскольку в аппаратуре широкого применения приходится преобразовывать не только непрерывные сигналы (например, схемы усилителей, радиоприемников, магнитофонов, телевизоров и других устройств), но и импульсные (например, сигналы изображения), ряд серий аналоговых микросхем содержат в своем составе триггеры, электронные ключи, схемы селекции и сравнения и даже основные логические схемы, что позволяет создавать простейшие цифровые устройства (счетчики, цифровые индикаторы, счетно-решающие устройства).

В справочнике приведен функциональный состав аналоговых микросхем широкого применения. Эти сведения могут быть использованы для сравнительной оценки функциональных возможностей имеющихся серий и предварительного выбора микросхем.

Отечественной промышленностью разработано большое многообразие серий аналоговых интегральных схем, различающихся полнотой (числом ИС в серии), степенью интеграции, технологией изготовления и конструктивным оформлением.

Микросхемы серий К122, К123, К140, К153, К173 и К740 позволяют создавать усилители. Серия К122 содержит наборы усилителей переменного тока, каскодные и дифференциальные усилители, а также видеоусилители. Серия К123 позволяет создавать предварительные усилители низкой частоты с коэффициентом усиления от 30 до 500 и полосой пропускания от 0,2 до 100 кГц.

Большое внимание заслуживают серии К140, К153 и К740, содержащие микросхемы операционных усилителей (усилителей постоянного и переменного тока), позволяющие создавать почти все элементы радиотехнических устройств. Серия К173 содержит две микросхемы усилителей низкой частоты, обеспечивающих коэффициент усиления 20...200, выходную мощность 0,5 или 1 Вт и полосу пропускания 30...20000 Гц. Серия предназначена для переносных радиоприемников, проигрывателей и магнитофонов.

Табл. 22.2. Параметры микросхем серии К106.

Тип микро- схемы	Вид микросхемы	Коли- чество входов	Назна- чение	Мощность потребле- ния, мВт	Напряже- ние логи- ческого нуля, В	Время за- держки распростра- нения, нс	Коэффи- циент развет- вления по выходу	Напряже- ние поме- хи, В	Коэффи- циент объе- динения по входу «И»	Напряже- ние источ- ника пита- ния, В $\pm 10\%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К1ЛБО61 К1ЛБО62	Два логических элемента «ЗИ—НЕ», расширяемые по «ИЛИ»	2 2	Логические и арифметические узлы цифро- вых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики	18×2 7×2	0,35 0,3	50 120	10 10	0,5 0,5	3 3	+5 +5
К1ЛБО63 К1ЛБО64	Два логических элемента «2И—НЕ», расширяемые по «ИЛИ»	2 2		18×2 7×2	0,35 0,3	50 120	10 10	0,5 0,5	2 2	+5 +5
К1ЛБО65 К1ЛБО66	Логические элементы «8И— НЕ», расширяемые по «ИЛИ»	— —		18 7	0,35 0,3	60 140	10 10	0,5 0,5	8 8	+5 +5
К1ЛБО67 К1ЛБО68	Логические элементы «6И— НЕ», расширяемые по «ИЛИ»	— —		18 7	0,35 0,3	60 140	10 10	0,5 0,5	6 6	+5 +5
К1ЛБО69 К1ЛБО610	Логические элементы «4И— НЕ», расширяемые по «ИЛИ»	— —		18 7	0,35 0,3	60 140	10 10	0,5 0,5	4 4	+5 +5
К1ЛПО61 К1ЛПО62	Расширители по «ИЛИ»	2 2		— —	— —	48 48	— —	0,5 0,5	8 8	+5 +5
К1ЛПО63 К1ЛПО64		6 6		— —	— —	48 48	— —	0,5 0,5	6 6	+5 +5
К1ЛПО65 К1ЛПО66		2×4 2×4		— —	— —	48 48	— —	0,5 0,5	4 4	+5 +5
К1ЛПО67 К1ЛПО68		2×3 2×3		— —	— —	48 48	— —	0,5 0,5	3 3	+5 +5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К1ТРО61	Триггеры с элементами на входе «ЗИ—НЕ»	2		36	0,35	50	9	0,5	3	+5
К1ТРО62		2		14	0,3	120	9	0,5	3	+5
К1ТРО63	Триггеры с элементами на входе «2И—НЕ»	2		36	0,35	50	9	0,5	2	+5
К1ТРО64		2		14	0,3	120	9	0,5	2	+5
К1ЛРО61	Логические элементы «8И—2ИЛИ—НЕ»	—		24	0,35	60	10	0,6	4	+5
К1ЛРО62		—		10	0,3	140	10	0,6	4	+5
К1ЛРО63	Логические элементы «6И—2ИЛИ—НЕ»	—		24	0,35	60	10	0,6	2	+5
К1ЛРО64		—		10	0,3	140	10	0,6	2	+5

Табл. 22.3. Параметры микросхем серии К113

Термины параметров	К1ЛБ131	К1ЛБ132	К1ЛБ133	К1ЛБ134	К1ЛБ135	К1ИЛ13'	К1ТР131
Вид микросхем	Логические элементы «ИЛИ—НЕ». Резисторно-транзисторные логические схемы					Полусумматор	Триггер и элемент «ИЛИ—НЕ»
Количество входов	4×2	2×4	2; 3	3	2; 3×2	—	2
Назначение	Вычислительные и цифровые устройства						
Напряжение источника питания, В ± 5%	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4
Входной ток схемы, мкА	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	19,5
Мощность потребления, мВт	2	2	13,7	12,8	2	2	2
	(на один базовый элемент)						
Напряжение логической единицы, В	0,78	0,78	2,1	2,2	0,78	0,78	0,78
Напряжение логического нуля, В	0,22	0,22	0,22	0,55	0,22	0,22	0,22
Время задержки распространения, нс	500	500	500	500	500	500	500
Коэффициент разветвления по выходу	4	4	50	50	4	4	4
Напряжение помехи, В	0,1	0,1	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
Выходной ток, мкА	82...150	82...150	82...150	—	82...150	82...150	82...150

Табл. 22.4. Параметры микросхем серии К114

Тип микро- схемы	Вид микросхемы	Коли- чество входов	Назначение	Напряже- ние источ- ника пита- ния, В $\pm 10\%$	Входной ток схемы, мкА	Мощ- ность потреба- ния, мВт	Напря- жение логи- ческой едини- цы, В	Напряже- ние логи- ческого ну- ля, В	Время за- держки распрост- ранения, нс	Коэффици- ент развет- вления по выходу	Выходной ток, мкА
К1ЛП141А К1ЛП141Б	Логический элемент «НЕ—НЕТ»	4 4	Резисторно-транзисторные логические полупроводниковые (кремниевые) схемы предназначены для вычисления операций и обработки цифровой информации с малым потреблением мощности источников питания	+4 +4	6...34 6...48	2,8 4,4	0,78 0,78	0,2 0,2	500 400	4 4	70...110 100...180
К1ЛП142А К1ЛП142Б	Расширители по «НЕТ»	4 4		+4 +4	6...34 6...48	— —	— —	0,2 0,2	— —	— —	— —
К1ЛП143А К1ЛП143Б	Логический элемент «ИЛИ—НЕТ»	6 6		+4 +4	6...17 6...24	1,15 1,7	0,78 0,78	0,2 0,2	1000 800	4 4	60...160 86...193
К1ЛП144А К1ЛП144Б	— —	2×2 2×2		+4 +4	6...17 6...24	2,8 4,4	0,78 0,78	0,2 0,2	1000 800	4 4	60...116 86...193
К1ЛП145А К1ЛП145Б	Расширители по «ИЛИ»	2×4 2×4		+4 +4	6...17 6...24	— —	— —	0,2 0,2	— —	— —	— —
К1ЛБ141А К1ЛБ141Б	Логический элемент «ИЛИ—НЕ»	2×4 2×4		+4 +4	6...17 6...24	1,4 2,2	0,78 0,78	0,2 0,2	500 400	4 4	70...110 100...180
К1ЛБ142А К1ЛБ142Б	Логический элемент «ИЛИ»	2 2		+4 +4	6...51 6...72	2,55 3,9	0,95 0,95	0,2 0,2	1000 800	10 10	26...330 38...510
К1ЛБ143А К1ЛБ143Б	Логический элемент «ИЛИ—НЕТ», «ИЛИ»	2; 2 2; 2		+4 +4	6...17 6...24	68 —	1,1 1,1	0,3 0,3	1000 800	80 80	70...110 100...180
К1ИЛ141А К1ИЛ141Б	Полусумматор и логиче- ский элемент «ИЛИ—НЕ»	2 2		+4 +4	6...32 6...46	3,25 5	0,78 0,78	0,2 0,2	1000 800	— —	43...116 62...193
К1ИР141А К1ИР141Б	Разряд двухтактного ре- гистра сдвига	— —		+4 +4	6...32 6...46	5,1 7,5	0,78 0,78	0,2 0,2	1500 1200	4 4	43...116 62...193
К1ТР141А К1ТР141Б	Триггер с отдельными входами	— —		+4 +4	6...34 6...48	2,55 3,9	0,78 0,78	0,2 0,2	1000 800	4 4	60...116 86...193

Табл. 22.5. Назначение и вид микросхем серии К120

Тип микро- схемы	Вид микросхемы	Назначение и технология изготовления
К1ЛЛ201	Логические элементы (ЛЭ) «БИЛИ», «ЗИЛИ»	Полупроводниковые логические микросхемы, выполненные на основе транзисторной логики с непосредственной связью на МОП-структурах по планарно-эпитаксиальной технологии. Предназначены для построения узлов цифровых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики
К1ЛБ201	Три ЛЭ «ЗИЛИ—НЕ», ЛЭ «НЕ»	
К1ЛБ202	Два ЛЭ «ЗИЛИ—НЕ» с двумя общими входами и ЛЭ «ЗИЛИ/ЗИЛИ—НЕ»	
К1ИР201	Регистр статический реверсивный сдвиговой на 2 разряда	
К1ИР202	Регистр статический трехразрядный	
К1ИЕ201	Счетчик одноразрядный реверсивный, со сквозным переносом, установочным и вентильным входами	
К1ИС201	Сумматор комбинационный с управляющими входами	
К1ИД201	Дешифратор на три входа	
К1ИД202	Дешифратор со стробированием	
К1ИШ201	Шифратор	

Табл. 22.6. Параметры микросхем серии К120

Тип микро- схемы	$U_{и, п'}$, В, $\pm 10\%$	$U_{и, см'}$, В, $\pm 10\%$	$P_{пот'}$, мВт	$U_{вых'}$, В	$U_{вых}$, В	$I_{ут, вх'}$, мкА	$t_{зд, р'}$, нс	макс кГц	$U_{пом'}$, В	$K_{раз}$	$K_{н}$, МОм	C_{Φ}
К1ИР201	—12	—27	28	—10	—3	0,1	—	200	1	10	10	20
К1ИР202	—12	—27	21	—10	—3	0,1	—	200	1	10	10	20
К1ИЕ201	—12	—27	35	—10	—3	0,1	—	200	1	10	10	20
К1ИС201	—12	—27	42	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20
К1ИД201	—12	—27	70	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20
К1ИД202	—12	—27	42	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20
К1ЛЛ201	—12,6	—27	14	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20
К1ЛБ201	—12,6	—27	28	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20
К1ЛБ202	—12,6	—27	21	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20
К1ИШ201	—12,6	—27	21	—10	—3	0,1	800	200	1	10	10	20

Табл. 22.7. Параметры микросхем серии К133

Тип микро- схемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряже- ние источ- ника пита- ния, В, ±5%	Мощность потребле- ния, мВт	Количес- тво входов	Напряже- ние логи- ческой эле- мента, В	Напряже- ние логи- ческого нуля, В	Время за- держки распростра- нения, нс	Коэффи- циент раз- ветвления по выходу	Коэффи- циент объ- единения по входу «1»	Напря- жение поме- хи, В
К1ЛБ331	Логические элементы «И—НЕ»	Транзисторно-транзисторные логические схемы предназначены для цифровых вычислительных схем и устройств дискретной обработки информации	+5	25	2×4	2,4	0,4	27	10	8	0,3
К1ЛБ339			+5	25	2×4	2,4	0,4	27	5	8	0,3
К1ЛБ332			+5	25	8	2,4	0,4	29	10	8	0,3
К1ЛБ3310			+5	25	8	2,4	0,4	29	5	8	0,3
К1ЛБ333			+5	25	4×2	2,4	0,4	27	10	2	0,3
К1ЛБ3311			+5	25	4×2	2,4	0,4	27	5	—	0,3
К1ЛБ334			+5	25	3×3	2,4	0,4	27	10	3	0,3
К1ЛБ3312			+5	25	2×4	2,4	0,4	29	5	—	0,3
К1ЛБ336			+5	41	2×4	2,4	0,4	—	30	4	0,3
К1ЛБ3313			+5	41	2×4	—	0,4	—	4	—	—
К1ЛБ337	Расширили по «ИЛИ»	логические	+5	41	2×4	—	0,4	—	4	—	—
К1ЛБ3315			+5	41	2×4	—	0,4	—	2	—	—
К1ЛБ338			+5	25	4×2	—	0,4	—	—	—	—
К1ЛБ3316			+5	25	4×2	—	0,4	—	2	—	—
К1ЛП331	«2И—2ИЛИ—НЕ»	логические	+5	—	2×4	2,4	0,4	8	—	—	—
К1ЛП333			+5	—	8	2,4	0,4	8	—	—	—
К1ЛР331			+5	34,5	2	2,4	0,5	29	10	8	0,3
К1ЛР335			+5	34,5	2	2,4	0,5	29	5	8	0,3
К1ЛР333	«2—2—2—3И—ИЛИ—НЕ»	Универсальный JK-триггер с логикой на входе «3И»	+5	55	—	2,4	0,5	29	10	9	0,3
К1ЛР336			+5	55	—	2,4	0,5	29	5	9	0,3
К1ТК331	Два D-триггера	Универсальный JK-триггер с логикой на входе «3И»	+5	110	—	2,4	0,4	—	—	—	0,4
К1ТК333			+5	110	—	2,4	0,4	—	—	—	0,4
К1ТК332	Два D-триггера	Универсальный JK-триггер с логикой на входе «3И»	+5	110	—	2,4	0,35	—	—	—	0,4
К1ТК334			+5	110	—	2,4	0,35	—	—	—	0,4

Табл. 22.8. Параметры микросхем серии К147

Термины параметров	К1ЛБ471	К1ЛБ472	К1ЛР471	К1ТР471
Вид микросхемы	Логический элемент (ЛЭ) «ИЛИ-НЕ»	ЛЭ «ИЛИ-НЕ» с прямым и инверсным выводами	ЛЭ «И-ИЛИ-НЕ»	Двухступенчатый триггер с раздельными входами
Назначение	Кремниевые интегральные схемы на основе МОП-структур предназначены для цифровых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики			
Количество входов	2×3	8	2×4	—
Напряжение источника питания $\pm 10\%$, В	—12,6	—12,6	—12,6	—12,6
Напряжение источника смещения $\pm 10\%$, В	—27	—27	—27	—27
Мощность потребления, мВт	25	35	45	55
Мощность потребления в цепи смещения, мВт	45	45	45	35
Напряжение логической единицы, В	—8...—13,9	—8...—13,9	—18...—13,9	—8...—13,9
Напряжение логического нуля, В	0...—2	0...—2	0...—2	0...—2
Время задержки распространения, мкс	2,5	2,5	2,5	—
Коэффициент разветвления по выходу	10	10	10	—
Максимальное входное напряжение, В	—15 +1	—15 +1	—15 +1	—15 +1
Входное сопротивление, МОм	15	15	15	15

Табл. 22.9. Параметры микросхем серии К155

Тип микросхемы	Вид микросхемы	Назначение	Количество входов	Напряжение источника питания, В	Мощность потребления, мВт	Напряжение логической единицы, В	Напряжение логического нуля, В	Время задержки распространения, мкс	Коэффициент разветвления по выходу	Коэффициент объединения по входу «И»	Напряжение помехи, В
К1ЛБ551	Логический элемент (ЛЭ) «И-НЕ»		2×4	+5±10%	25	2,4	0,4	18,5	10	4	0,4
К1ЛБ559	ЛЭ «И-НЕ»		2×4	+5±10%	25	2,4	0,4	18,5	5	4	0,4
К1ЛБ552	ЛЭ «И-НЕ»		8	+5±10%	25	2,4	0,4	18,5	10	8	0,4
К1ЛБ5510	ЛЭ «И-НЕ»		8	+5±10%	25	2,4	0,4	18,5	5	8	0,4
К1ЛБ553	ЛЭ «И-НЕ»		4×2	+5±10%	25	2,4	0,4	18,5	10	2	0,4
К1ЛБ5511	ЛЭ «И-НЕ»		4×2	+5±5%	25	2,4	0,4	18,5	5	2	0,4
К1ЛБ554	ЛЭ «И-НЕ»		3×3	+5±5%	25	2,4	0,4	18,5	10	3	0,4
К1ЛБ5512	ЛЭ «И-НЕ»		3×3	+5±5%	25	2,4	0,4	18,5	5	3	0,4

Тип микросхем	Вид микросхем	Назначение	Количество входов	Напряжение источника питания, В	Мощность потребления, мВт	Напряжение логической единицы, В	Напряжение логического нуля, В	Время задержки распространения, мкс	Коэффициент разветвления по выходу	Коэффициент объединения по входу «и»	Напряжение помехи, В
K1ЛБ556	ЛЭ «И—НЕ»	Транзисторно-транзисторные логические схемы предназначены для цифровых вычислительных машин и схем ретной автоматики	2×4	+5±5%	40	2,4	0,4	18,5	30	4	0,3
K1ЛБ5513	ЛЭ «И—НЕ»		2×4	+5±5%	40	2,4	0,4	18,5	15	4	0,3
K1ЛБ557	ЛЭ «И—НЕ»		2×4	+5±10%	30	—	0,4	—	—	—	—
K1ЛБ5515	ЛЭ «И—НЕ»		2×4	+5±10%	30	—	0,4	—	—	—	—
K1ЛБ558	ЛЭ «И—НЕ»		4×2	+5±5%	30	—	0,4	—	—	—	—
K1ЛБ5516	ЛЭ «И—НЕ»		4×2	+5±5%	30	—	0,4	—	—	—	—
K1ЛР551	ЛЭ «2И—2ИЛИ—НЕ»		2	+5±5%	34,5	2,4	0,4	18	10	8	0,3
K1ЛР555	ЛЭ «2И—2ИЛИ—НЕ»		2	+5±5%	34,5	2,4	0,4	18	5	8	0,3
K1ЛР553	ЛЭ «2—2—2—3И—4ИЛИ—НЕ»		—	+5±5%	50	2,4	0,4	18,5	10	9	—
K1ЛР556	ЛЭ «2—2—2—3И—4ИЛИ—НЕ»		—	+5±5%	50	2,4	0,4	18,5	5	9	—
K1ЛП551	ЛЭ «ИЛИ»		2×4	+5±5%	—	—	—	5	—	—	—
K1ЛП553	ЛЭ «ИЛИ»		8	+5±5%	—	—	—	5	—	—	—
K1ТК551	Триггеры J—К с логикой на входе «3И»		—	—	105	2,4	0,4	—	—	—	0,4
K1ТК553	Два D-триггера		—	—	105	2,4	0,4	—	—	—	0,4
K1ТК552			—	—	157,5	2,4	0,4	—	—	—	0,4
K1ТК554			—	—	—	—	—	—	—	—	—

Табл. 22.10. Параметры микросхем серии K172

Термины параметров	K1ЛБ721	K1ЛБ722	K1ЛИ721	K1ЛР721	K1ТР721
Вид микросхемы	Логический элемент (ЛЭ) «4ИЛИ—НЕ/4ИЛИ»	ЛЭ «10ИЛИ—НЕ/10ИЛИ»	Логический элемент «И»	ЛЭ «2И—2ИЛИ/2И—2ИЛИ—НЕ»	Двухступенчатый триггер с входной логикой
Назначение	Полупроводниковые логические микросхемы предназначены для электронных клавишных вычислительных машин				
Напряжение источника питания ±2,7%, В	—27	—27	—27	—27	—27
Мощность потребления, мВт	80	45	160	80	80

Термины параметров	К1ЛБ721	К1ЛБ722	К1ЛИ721	К1ЛР721	К1ТР721
Напряжение логической единицы, В	-9,5...-20	-9,5...-20	-9,5...-20	-9,5...-20	-9,5...-20
Напряжение логического нуля, В	0...-1	0...-1	0...-1	0...-1	0...-1
Время задержки распространения, нс	600	600	600	600	—
Коэффициент разветвления по выходу	15	15	15	15	15
Напряжение помехи, В	1	1	1	1	1

Табл. 22.11. Параметры микросхем серии К201

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Тип микросхемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряжение источника питания, В	Мощность потребления, мВт	Коэффициент разветвления по выходу	Напряжение логического нуля, В	Напряжение логической единицы, В	Время задержки распространения, нс	Напряжение помехи, В	Длительность входного сигнала, мкс	Ток коллектора закрытого инвертора мкА	Напряжение на выходе открытого инвертора в режиме насыщения, В	Статический коэффициент усиления тока, не менее
К2ЛВ011	Логический элемент „НЕ/И—НЕ“	Резисторно-транзисторные логические схемы предназначены для применения в малогабаритных цифровых вычислительных машинах и устройствах цифровой автоматики	4±10%	15	10	0,3	0,7...1,3	270	0,3	—	—	—	—
К2ЛВ012	Логический элемент „НЕ/ИЛИ—НЕ“			30	5	0,3	0,7...1,3	270	0,3	0,5	22	0,3	—
К2ЛВ013	Логический элемент „НЕ/ИЛИ—НЕ“			30	14	0,3	0,7...1,3	270	0,3	0,5	22	0,3	—
К2ЛВ014	Логический элемент „НЕ/И—НЕ“			25	10	0,3	0,7...1,3	270	0,3	0,5	44	0,3	—
К2ЛК015	Логический элемент „НЕ/И—НЕ“			20	10	0,3	0,7...1,3	270	0,3	0,5	22	0,3	—
К2ЛВ016	Логический элемент „НЕ/ИЛИ—НЕ“			38	5	0,3	0,7...1,3	270	0,3	0,5	22	0,3	—
К2ЛВ017	Логический элемент „НЕ/ИЛИ—НЕ“			38	14	0,3	0,7...1,3	270	0,3	0,5	22	0,3	—
К2ЛС011	Логический элемент „И—ИЛИ“			30	—	0,3	0,7...1,3	350	0,3	—	22	0,3	—
К2НТ011	Транзисторная сборка			—	—	—	—	—	—	—	15 мА	0,3	13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
К2НД021	Диодная матри- ца	Диодно-транзисторные гибридные толсто- пленочные логические схемы предназначены для цифровых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики	—	—	—	0,5	0,4	0,7	10	20	—	—	—	—	—	—
К2НД022	Диодная матри- ца		—	—	—	0,5	0,4	0,7	10	20	—	—	—	—	—	—
К2ЛС021	ЛЭ „2 (2И)— или„		$\pm 10\%$	$-0,25 \pm$	15	—	—	—	—	—	$-1,35$	$-0,33$	70	3	0,3	8
К2ЛС022	ЛЭ „2 (2И)— или„		$\pm 10\%$	$-0,25 \pm$	15	—	—	—	—	—	$-1,35$	$-0,33$	70	5	0,3	8
К2ЛС023	ЛЭ „2 (2И)— или„		$\pm 10\%$	$-0,25 \pm$	33	—	—	—	—	—	$-1,35$	$-0,33$	200	3	0,3	8
К2ЛС024	ЛЭ „2 (2И)— или„		$\pm 10\%$	$-0,25 \pm$	33	—	—	—	—	—	$-1,35$	$-0,33$	200	5	0,3	8
К2ЛС025	ЛЭ „2 (2И)— или„		$\pm 10\%$	$-0,25 \pm$	21	—	—	—	—	—	$-1,35$	$-0,33$	150	3	0,3	8
К2ЛС026	ЛЭ „2 (2И)— или„		$\pm 10\%$	$-0,25 \pm$	21	—	—	—	—	—	$-1,35$	$-0,33$	150	5	0,3	8

[illegible]

Табл. 22.12. **Параметры микросхем серии К202**

[illegible]

Табл. 22.13.

Параметры микросхем серии К204

Термины параметров	К2ТК041	К2ЛБ041	К2ЛБ042	К2НК041	К2ЛИ041
Вид микросхемы	Импульсно-потенциальные логические гибридные толсто-пленочные схемы				
Назначение	Триггер с раздельным и со счетным входами	Логический элемент „ИЛИ—НЕ/И—НЕ“	Логический элемент „И—НЕ/ИЛИ—НЕ“	Набор элементов комбинированный	Логический элемент „И“
Напряжение источников питания, В	$+4 \pm 10\%$ $-4 \pm 10\%$	$+4 \pm 10\%$ $-4 \pm 10\%$	$+4 \pm 10\%$ $-4 \pm 10\%$	—	—
Мощность потребления, мВт, не более	37	68	56	—	18
Напряжение логического нуля, В, не более	-0,3	-0,3	-0,3	—	—
Напряжение логической единицы, В, не менее	+2,4	+2,4	+2,4	—	—
Время задержки распространения, нс, не более	400	100	150	—	10
Напряжение помехи по шине питания, В, не более	0,9	0,9	0,9	0,6	0,8
Частота входного сигнала, кГц, не более	500	—	—	—	—
Коэффициент объединения по входу, не более	—	3	5	8	4
Коэффициент разветвления по выходу, не более	—	10	10	1	1...2

Табл. 22.14.

Параметры микросхем серии К205

Термины параметров	К2НК051	К2ЛБ051	К2ЛБ052	К2ЛБ053	К2ЛН051	К2ТК051
Вид микросхемы	Импульсно-потенциальная схема совпадения	Логические элементы „ИЛИ—НЕ“				Половина триггера
Назначение	Резервированные логические элементы с резисторными связями предназначены для логических и арифметических узлов цифровых вычислительных машин					

Термины параметров	К2НҚ051	К2ЛБ051	К2ЛБ052	К2ЛБ053	К2ЛН051	К2ТС051
Напряжение источника питания $\pm 10\%$, В	—	+4	+4	+4	+4	+4
Мощность потребления, мВт	—	50	25	25	8	25
Напряжение логической единицы, В	1,1	1,4	1,4	1,4	3	1,4
Напряжение логического нуля, В	1,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
Время задержки распространения, нс	—	250	250	250	250	250
Коэффициент разветвления по выходу	—	2	2	3	2	2
Напряжение помехи, В	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,1

Табл. 22.15.

Параметры микросхем серии К215

Термины параметров	К2УИ151	К2ЛН151	К2ЛС151	К2ЛС152	К2ПН151	К2ПН152
Вид микросхемы	Диодно-транзисторные быстродействующие логические гибридные толстопленочные схемы					
	Усилитель мощности	Два инвертора	Логические элементы „2(2И)—ИЛИ“		Преобразователи напряжения	
Назначение	Предназначены для цифровых устройств цифровой автоматики					
Напряжение источников питания, В	$+4 \pm 10\%$ $-4 \pm 10\%$		$+4 \pm 10\%$ $-4 \pm 10\%$		$+4 \pm 10\%$ $-4 \pm 10\%$	
Напряжение источника смещения, В	$-0,25 \pm 15\%$				—	—
Потребляемая мощность на элемент, мВт, не более	48	35	22	30	28	73
Напряжение логической единицы, В, не менее	—1,4	—1,4	—1,4	—1,4	0,33	—1,80
Напряжение логического нуля, В, не более	—0,33	—0,33	—0,33	—0,33	3,45	—0,33
Время задержки распространения, нс, не более	30	38	25	25	—	—
Коэффициент разветвления по выходу, не более	5	5	5	5	—	5
Напряжение помехи, В, не более	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Коэффициент объединения по входу „И“, не более	—	—	6	6	6	—
Коэффициент объединения по входу „ИЛИ“, не более	—	—	8	8	—	—

Табл. 22.16. Параметры микросхем серии K217

Тип микро- схемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряжение исто- ника питания, В	Мощность потребле- ния, мВт	Время (приращение) задержки распрост- ранения, нс	Напряжение логиче- ской единицы В	Напряжение логиче- ского нуля, В	Частота входного сигнала, МГц	Коэффициент развет- вления по выходу	Напряжение помехи, В	Коэффициент объеди- нения по входу и коллектору	Статический коэффи- циент усиления тока базы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K2ЛП171	Сдвоенный расши- ритель	Диодно-транзисторные логические гибридные тонко- пленочные схемы с непосредственными связями предназначены для цифровых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики	$+6 \pm 10\%$	18,5	6	—	—	—	—	—	—	—
K2ЛП172	Расширитель		$+6 \pm 10\%$	9	4	—	—	—	—	—	—	—
K2ЛП173	Диодная сборка		—	11	—	—	—	—	—	—	—	—
K2ТК171А	Триггер со счетным и раздельными вхо- дами		$+3 \pm 10\%$	52	—	2,6	0,3	3	4	0,5	—	—
K2ТК171Б	Триггер со счетным и раздельными вхо- дами		$+3 \pm 10\%$	52	—	2,6	0,3	5	4	0,5	—	—
K2ЛБ171А	Логический элемент (ЛЭ) „И—НЕ/ ИЛИ—НЕ“		$+6 \pm 10\%$	12	23,5	2,6	0,3	—	4	0,5	8 (по вх.) 8 (по колл.)	—
K2ЛБ171Б	ЛЭ „И—НЕ/ ИЛИ—НЕ“		$+6 \pm 10\%$	12	23,5	2,6	0,3	—	6	0,5	8 (по вх.) 8 (по колл.)	—
K2ЛБ172А	ЛЭ „И—НЕ“		$+6 \pm 10\%$	24	25	2,6	0,3	—	4	0,5	3 (по вх.) 8 (по колл.)	—
K2ЛБ172Б	ЛЭ „И—НЕ“		$+6 \pm 10\%$	24	25	2,6	0,3	—	6	0,5	3 (по вх.) 8 (по колл.)	—
K2ЛБ173	ЛЭ „И—НЕ/ ИЛИ—НЕ“		$+6 \pm 10\%$	35	27,5	2,6	0,3	—	8	0,5	6 (по вх.)	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
К2ЛБ173А	ЛЭ „И—НЕ/ИЛИ—НЕ“			35	40	2,6	0,3	—	8	0,5	6 (по вх.)	—
К2ЛБ174А	ЛЭ „И—НЕ“			39	23,5	2,6	0,3	—	4	—	—	—
К2ЛБ174Б	ЛЭ „И—НЕ“			39	23,5	2,6	0,3		6	—	—	—
К2НТ171	Транзисторная матрица		—	—	25	—	—	—	—	—	—	30...90
К2НТ172	Транзисторная матрица		—	—	25	—	—	—	—	—	—	50...150
К2НТ173	Транзисторная матрица		—	—	25	—	—	—	—	—	—	70...280
К2ЛР171	Низкочастотный ЛЭ „И—ИЛИ—НЕ“			40	30...100	2,6	0,3	—	8	0,5	8 (по вх. «ИЛИ»)	—
К2ТР171А	Триггер с раздельными входами		$+6 \pm 10\%$ $+3 \pm 10\%$	31	—	2,6	0,3	6	4	0,5	—	—
К2ТР171Б	Триггер с раздельными входами		$+6 \pm 10\%$ $+3 \pm 10\%$	31	—	2,6	0,3	6	6	0,5	—	—

Табл. 22.17. Параметры микросхем серии К243

Тип микро- схемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряжение источника питания, В	Потребляемая мощ- ность, мВт	Напряжение логи- ческой единицы, В	Напряжение логи- ческого нуля, В	Время задержки распространения, нс	Ток потребления, мА	Помехоустойчи- вость, В	Коэффициент объеди- нения по входу	Коэффициент раз- ветвления по выходу
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К2ЛБ431	Шестивходовой ло- гический элемент (ЛЭ), „И—НЕ“	Транзисторно-транзисторные быстродействующие ло- гические гибридные схемы предназначены для цифро- вых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики	$+3 \pm 10\%$	19,1	2,3	0,25	10	5,4	0,25	6	6
К2ЛБ432	Два трехходовых ЛЭ „И—НЕ“		$+3 \pm 10\%$	40	2,3	0,25	10	10,6	0,25	3	6
К2ЛБ433	Трехходовой ЛЭ „И—НЕ“ и трех- ходовой расшири- тель по „ИЛИ“		$+3 \pm 10\%$	24	2,3	0,25	10	6,1	0,25	3	6
К2ЛБ434	Два двухходовых ЛЭ „И—НЕ“ и двухходовой рас- ширитель по „ИЛИ“		$+3 \pm 10\%$	43	2,3	0,25	10	11,5	0,25	2	6
К2ЛБ435	Двухходовой ЛЭ „И—НЕ“ и два двухходовых рас- ширителя по „ИЛИ“	Транзисторно-транзисторные быстродействующие ло- гические гибридные схемы предназначены для цифро- вых вычислительных машин и устройств дискретной автоматики	$+3 \pm 10\%$	28,5	2,3	0,25	10	6,8	0,25	2	6
К2ЛБ436	Трехходовой ЛЭ „И—НЕ“ с повы- шенной нагрузочной способностью		$+4 \pm 10\%$	33	2,6	0,25	10	7,5	0,25	3	16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К2ЯП431	Два элемента памяти		$+3 \pm 10\%$	19	2,3	0,25	10	—	0,25	—	6
К2ЛН431	Пять ЛЭ „НЕ“ с открытым коллекторным выходом		$+3 \pm 10\%$	23	2,3	0,25	10	—	0,25	—	10
К2ЛН432	Пять логических элементов „НЕ“		$+3 \pm 10\%$	65	2,3	0,25	10	—	0,25	—	6
К2ЛН433	Три логических элемента „НЕ“		$+3 \pm 10\%$	50	2,3	0,25	10	—	0,25	—	3
К2УП431	Усилитель магистральный		$+6 \pm 10\%$ $+4 \pm 10\%$	65	2,1	0,3	20	—	0,25	—	6

Табл. 22.18. Назначение выводов цифровых интегральных схем серий К106, К120 и К155

Номера выводов	К1ЛБ061, К1ЛБ062	К1ЛБ063, К1ЛБ064	К1ЛП063, К1ЛП066	К1ЛП065, К1ЛП066	К1ЛП067, К1ЛП068
1	Вход „И“ 2-го элемента	Вход „И“	Вход	Вход	Вход
2	Вход „И“ 2-го элемента	Вход „И“	Вход	Вход	Вход
3	Вход расш. (коллектор) 2-го элемента	Вход расш. (коллектор)	Вход	Вход	Вход
4	Питание	Питание	Питание	Питание	Питание
5	Вход расш. (коллектор) 1-го элемента	Вход расш. (коллектор)	Вход	Вход	Вход
6	Вход „И“ 1-го элемента	Вход „И“	Вход	Вход	Вход
7	Вход „И“ 1-го элемента	Вход „И“	Вход	Вход	Вход
8	Вход „И“ 1-го элемента	—	—	Выход (эмиттер)	—
9	Вход расш. (эмиттер) 1-го элемента	Вход расш. (эмиттер)	Выход (эмиттер)	2-го расш.	Выход (эмиттер)
10	Выход 1-го элемента	Выход	—	Выход (коллектор) 2-го расш.	Выход (коллектор)
11	Общий	Общий	—	—	—

Номера выводов	К1ЛБ061, К1ЛБ062	К1ЛБ063, К1ЛБ064	К1ЛП063, К1ЛП064	К1ЛП065, К1ЛП066	К1ЛП067, К1ЛП068
12	Выход 2-го элемента	Выход	—	Выход (коллектор) 1-го расш.	Выход (коллектор)
13	Вход расш. (эмиттер) 2-го элемента	Вход расш. (эмиттер)	Выход (коллектор)	Выход (эмиттер) 1-го расш.	Выход (эмиттер)
14	Вход „И“ 2-го элемента	—	—	Вход	—

Номера выводов	К1ЛР061, К1ЛР062	К1ЛР063, К1ЛР064	К1ЛБ065, К1ЛБ066	К1ЛБ067, К1ЛБ068	К1ЛП061, К1ЛП062	К1ЛЛ201.
1	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход	Общий (земля)
2	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход	Вход
3	Вход „И“	—	Вход „И“	Вход „И“	Вход	Вход
4	Питание	Питание	Питание	Питание	Питание	Выход инв. 2
5	Вход „И“	—	Вход „И“	Вход „И“	Вход	Выход
6	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход	Выход прям. 2
7	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход „И“	Вход	Питание 2
8	Вход „И“	—	Вход „И“	—	Вход	Питание 1
9	Вход расш. (эмиттер)	Вход расш. (эмиттер)	Вход расш. (эмиттер)	Вход расш. (эмиттер)	Выход (эмиттер)	Вход
10	Выход	Выход	Выход	Выход	—	Вход
11	Общий	Общий	Общий	Общий	—	Вход
12	—	—	—	—	—	Вход
13	Вход расш. (коллектор)	Вход расш. (коллектор)	Вход расш. (коллектор)	Вход расш. (коллектор)	Выход (коллектор)	Вход
14	Вход „И“	—	Вход „И“	—	Вход	Вход

Номера выводов	К1ЛБ201	К1ЛБ202	К1ИР201	К1ИР202	К1ИЕ201	К1ИС201
1	Общий	Общий	Общий	Общий	Общий	Общий
2	Вход	Вход	Вход	Вход 3	Прямое плечо 1	Выход переноса (р, 1)
3	Вход	Вход	Вход	Уст. „0“	Инверсное плечо 2	Вход переноса (р, 1)
4	Вход инвертора	Вход инвертора	Вход	Выход инвертора 1	Инверсное плечо 1	Управляющий вход
5	Вход	Вход	Вход	Выход прям. 3	Счетный вход	Выход (а—b)
6	Выход инвертора	Выход прям.	Выход	Выход инвертора 3	Перенос	Управляющий вход
7	Питание 2	Питание 2	Питание 2	Питание 2	Питание 2	Питание 2
8	Питание 1	Питание 1	Питание 1	Питание 1	Питание 1	Питание 1
9	Выход	Выход	Выход	Выход инв. 2	Сигнал „сложение—вычитание“	Выход суммы инверс. (S)
10	Выход	Вход	Вход	Выход прям. 2	Прямое плечо 2	Выход суммы прямой (S)
11	Выход	Вход	Вход	Выход прям. 1	Сигнал записи	Вход 1 с сумматора (а)
12	Вход	Вход	Вход	Вход 1	Информационный вход	Управляющий вход
13	Вход	Выход	Выход	Вход 2	Уст. „1“	Вход 2 с сумматора (b)
14	Вход	Вход	Выход	Сигнал записи	Уст. „0“	Выход (а—b)

Номера выводов	К1ИД201	К1ИД202	К1ИШ201	К1ЛБ551	К1ЛБ552	К1ЛБ553	К1ЛБ554	К1ЛБ556
1	Общий	Общий	Общий	Вход X_1	Вход X_1	Вход X_1	Вход X_1	Вход X_1
2	Вход	Вход	Вход	Вход X_2	Вход X_2	Вход X_2	Вход X_2	Вход X_2
3	Выход	Стrobe-рующий сигнал	Сигнал записи 2	—	Вход X_3	Выход Y_1	Вход X_4	—

Номера выводов	КИИД201	КИИД202	КИИШ201	К1ЛБ551	К1ЛБ552	К1ЛБ553	К1ЛБ554	К1ЛБ556
4	Вход	Вход	Выход	Вход X_3	Вход X_4	Вход X_3	Вход X_5	Вход X_3
5	Выход	Выход	Сигнал записи 1	Вход X_4	Вход X_5	Вход X_4	Вход X_6	Вход X_4
6	Выход	Выход	Вход	Выход Y_1	Вход X_6	Выход Y_2	Выход Y_2	Выход Y_1
7	Питание 2	Питание 2	Питание 2	Общий	Общий	Общий	Общий	Общий
8	Питание 1	Питание 1	Питание 1	Выход Y_2	Выход	Выход Y_3	Выход Y_3	Выход Y_2
9	Выход	Выход	Вход	Вход X_5	—	Вход X_5	Вход X_7	Вход X_5
10	Выход	Выход	Вход	Вход X_6	—	Вход X_6	Вход X_8	Вход X_6
11	Вход	Выход	Выход	—	Вход X_7	Выход Y_4	Вход X_9	—
12	Выход	Вход	Выход	Вход X_7	Вход X_8	Вход X_7	Выход Y_1	Вход X_7
13	Выход	Вход	Вход	Вход X_8	—	Вход X_8	Вход X_3	Вход X_8
14	Выход	Вход	Вход	Питание	Питание	Питание	Питание	Питание

Номера выводов	К1ЛБ557	К1ЛБ558	К1ЛП551	К1ЛР551	К1ЛР553	К1ТК551, К1ТК553
1	Вход X_1	Выход Y_1	Вход X_1	Вход X_5	Вход X_4	—
2	Вход X_2	Вход X_1	Вход X_2	Вход X_1	Вход X_5	Вход установки „0“ X_1
3	—	Вход X_2	Вход X_3	Вход X_2	Вход X_6	Вход X_2 (I_1)
4	Вход X_3	Выход Y_2	Вход X_5	Вход X_3	Вход X_7	Вход X_3 (I_2)
5	Вход X_4	Вход X_3	Вход X_6	Вход X_4	Вход X_8	Вход X_4 (I_3)
6	Выход Y_1	Вход X_4	Вход X_7	Выход Y_1	Вход X_9	Выход Y_1
7	Общий	Общий	Общий	Общий	Общий	Общий
8	Выход Y_2	Вход X_5	Вход X_8	Выход Y_2	Выход Y	Выход Y_2
9	Вход X_5	Вход X_6	Выход расш. (Y_4)	Вход X_7	Вход X_1	Вход X_5 (K_1)
10	Вход X_6	Выход Y_3	Выход расш. (Y_3)	Вход X_8	Вход X_2	Вход X_7 (K_2)
11	—	Вход X_7	Выход расш. (Y_1)	Вход расш. (X_9)	Вход расш. (X_{10})	Вход X_8 (K_3)
12	Вход X_7	Вход X_8	Выход расш. (Y_2)	Вход расш. (X_{10})	Вход расш. (X_{11})	Вход синхронизации X_9
13	Вход X_8	Выход Y_4	Вход X_4	Вход X_6	Вход X_3	Вход установки „1“ X_9
14	Питание	Питание	Питание	Питание	Питание	Питание

Табл. 22.19. Параметры микросхем серии K101

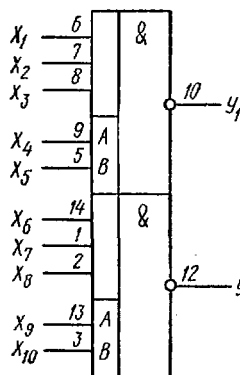
Термины параметров	K1KT011A	K1KT011B	K1KT011B	K1KT011Г
Вид микросхемы	Две идентичные транзисторные структуры $n-p-n$ -типа, имеющие общий коллектор			
Назначение	Транзисторные прерыватели предназначены для коммутации слабых электрических сигналов постоянного и переменного тока			
Остаточное напряжение между эмиттерами, мкВ	100	300	100	300
Ток утечки между эмиттерами, мА	40	40	40	40
Динамическое сопротивление, Ом	100	100	100	100
Емкость перехода, пФ				
эмиттер—база	10	10	10	10
коллектор—база	10	10	10	10
Максимальный ток коллектора, мА	10	10	10	10
Максимальный прямой ток через переход база—эмиттер, мА	10	10	10	10
Обратное напряжение на коллекторных переходах, В	3,5	3,5	3,5	3,5
Обратное напряжение на эмиттерных переходах, В	6,5	6,5	3,5	3,5

Группа микросхем серий K101, K118, K120, K218 и K228 находит применение преимущественно в той аппаратуре, где необходимо совместное использование аналоговых и импульсных элементов. Серия K101 содержит микросхему, позволяющую коммутировать электрические сигналы постоянного и переменного тока. Серия K218 содержит усилители импульсов обеих полярностей, мульти-вибраторы, триггеры, инверторы, схемы совпадения и другие элементы. Серия K228 дополняет серию K218. Она состоит из 10 микросхем, позволяющих создавать линейные усилители, схемы сравнения, коммутирующие и декодирующие элементы устройств связи, автоматики и телемеханики, контрольно-измерительные приборы, медицинскую аппаратуру, устройства информационных систем.

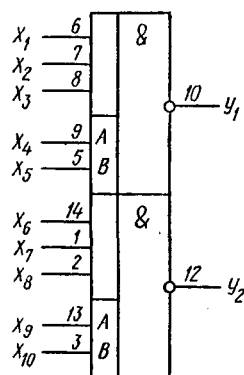
Серии K224 и K237 имеют в своем составе микросхемы, позволяющие создавать портативные и автомобильные радиоприемники, магнитофоны, тракты изображения, звука и цветности телевизионных приемников, усилители измерительных приборов.

Электрические параметры аналоговых интегральных микросхем серий K101, K118, K122, K123, K153, K740, K140, K173, K218, K224, K228, K237. и K242 приведены в табл. 22.19...22.30. Электрические схемы показаны на рис. 22.2, схемы включения ИС серии K173 — на рис. 22.3.

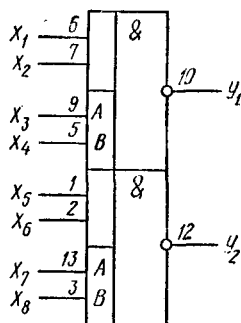
К1ЛБ061



К1ЛБ062

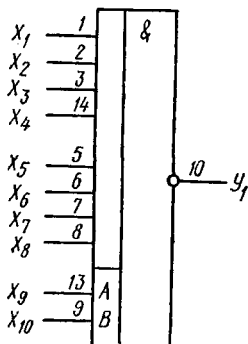
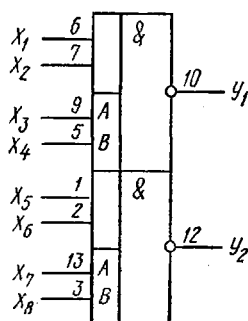


К1ЛБ063



К1ЛБ065

К1ЛБ064



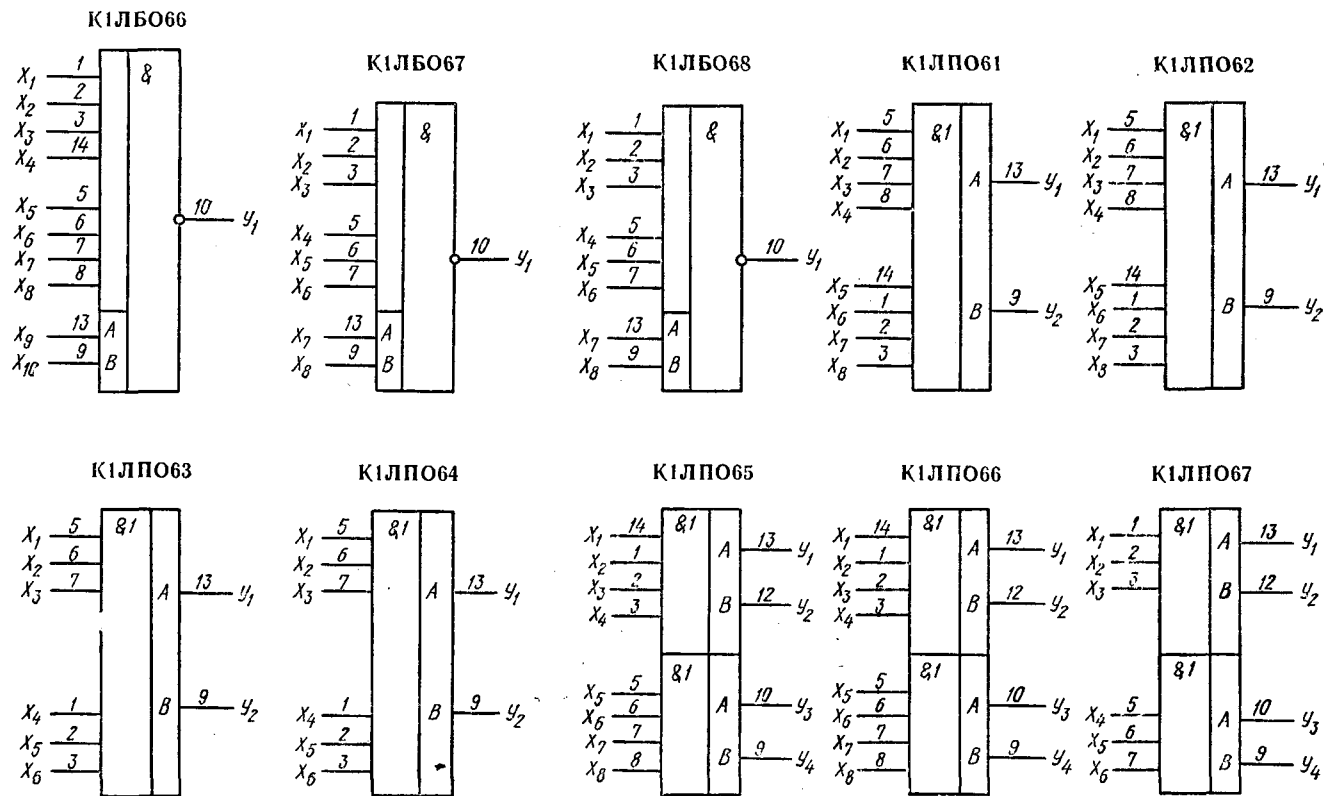
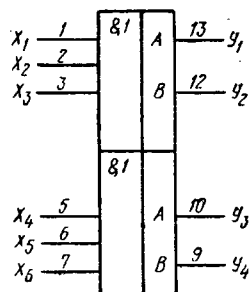
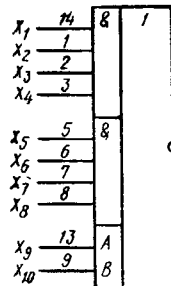


Рис. 22.1. Функциональные схемы цифровых ИС

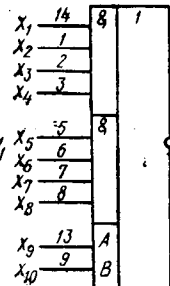
К1ЛПО68



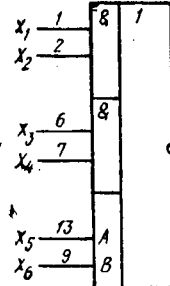
К1ЛРО61



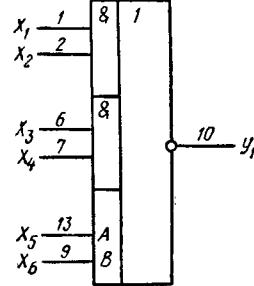
К1ЛРО62



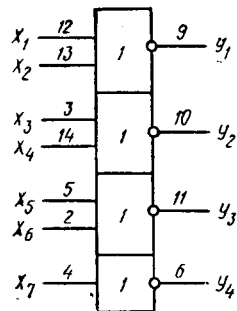
К1ЛРО63



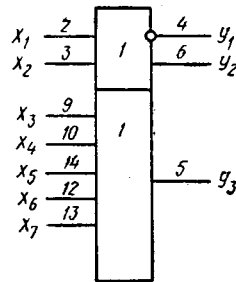
К1ЛРО64



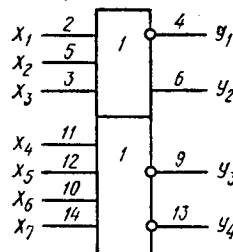
К1ЛБ201



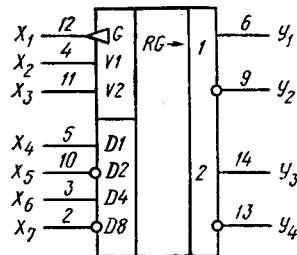
К1ЛЛ201



К1ЛБ202



К1НР201



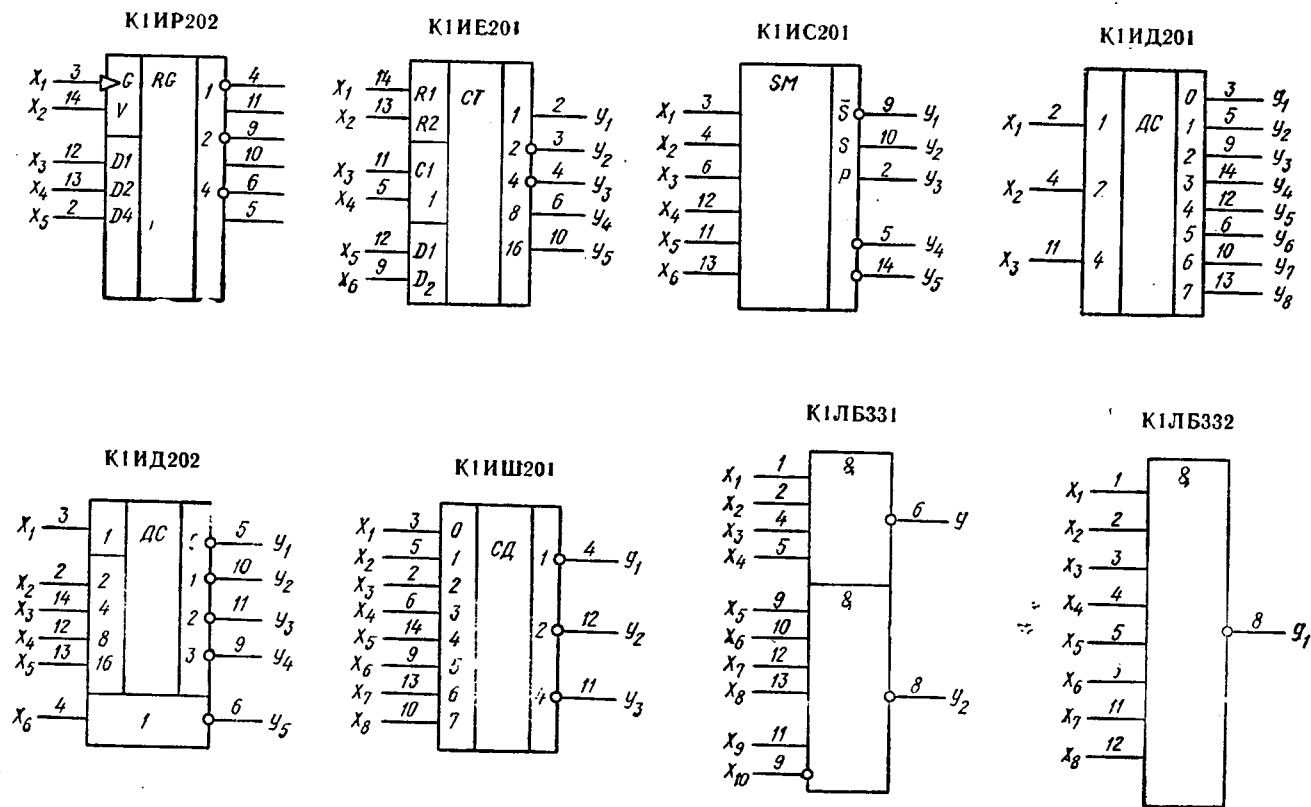
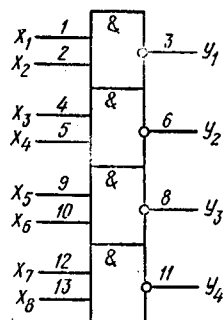
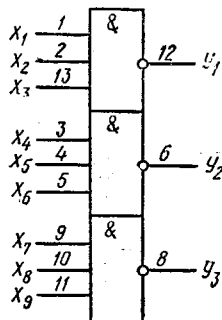


Рис. 22.1 (продолжение). Функциональные схемы цифровых ИС

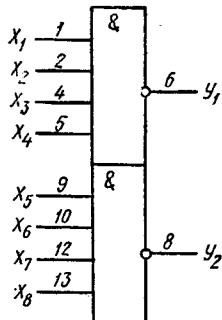
К1ЛБ333



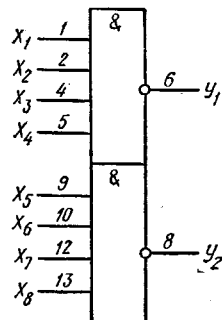
К1ЛБ334



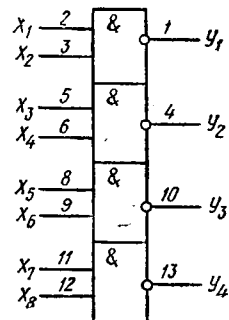
К1ЛБ336



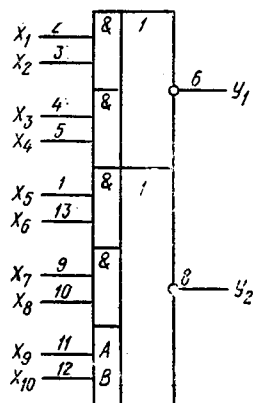
К1ЛБ337



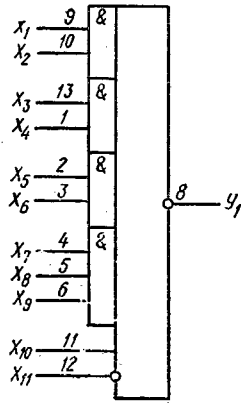
К1ЛБ338



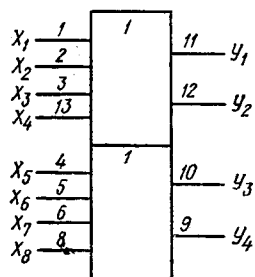
К1ЛР331



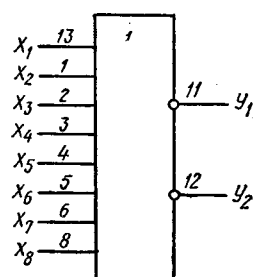
К1ЛР333



К1ЛП331



К1ЛП333



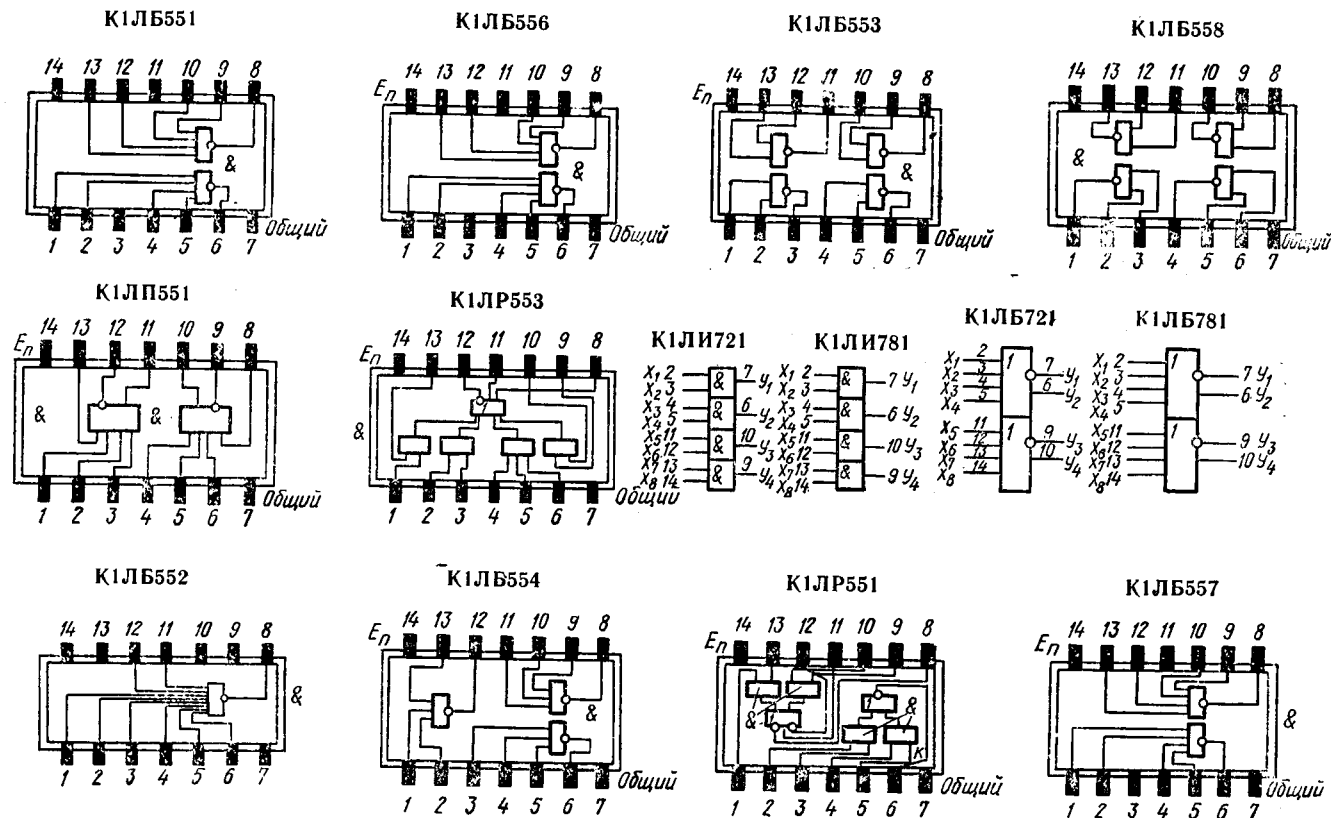


Рис. 22.1 (продолжение). Функциональные схемы цифровых ИС

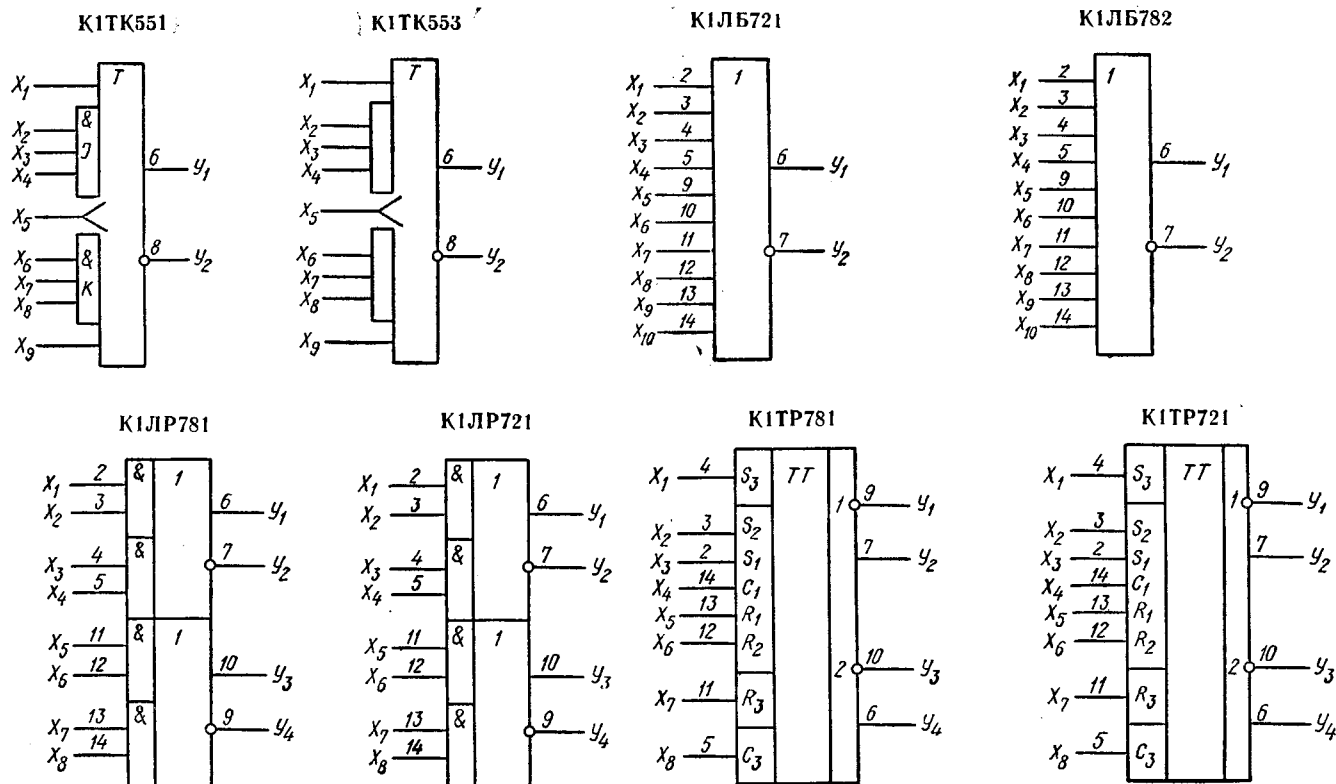


Рис. 22.1 (продолжение). Функциональные схемы цифровых ИС

Табл. 22.20. Параметры микросхем серии К118

1	2	3	4	5	6	Напряжение входного сигнала, В		9	10
						сигнальное	дифференциальное		
Тип микросхемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряжение источника питания ($\pm 10\%$), В	Коэффициент усиления на частоте 12 кГц, не менее	Входное сопротивление, кОм			Входной ток, мкА, не более	Напряжение выходного сигнала, В
К1УС181А	Двухкаскадный усилитель	Усилители и формирователи сигналов предназначены для радиоэлектронной аппаратуры широкого применения	+6,3	250	—	—	—	—	—
К1УС181Б	Двухкаскадный усилитель		+6,3	400	—	—	—	—	—
К1УС181В	Двухкаскадный усилитель		+12,6	350	—	—	—	—	—
К1УС181Г	Двухкаскадный усилитель		+12,6	500	—	—	—	—	—
К1УС181Д	Двухкаскадный усилитель		+12,6	800	—	—	—	—	—
К1УТ181А	Однокаскадный дифференциальный усилитель		± 4	15	6	± 2	$-2 \dots +1$	10	—
К1УТ181Б	Однокаскадный дифференциальный усилитель		$\pm 6,3$	22	3	± 3	$-3 \dots +1$	10	—
К1УТ181В	Однокаскадный дифференциальный усилитель		$\pm 6,3$	22	6	± 3	$-3 \dots +1$	20	—
К1УС182А	Каскодный усилитель		+4	15	1	0,1	—	—	—
К1УС182Б	Каскодный усилитель		+6,3	25	1	0,1	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K1YC182B	Каскодный усилитель		+6,3	40	1	0,05	—	—	—
K1TШ181A	Триггер Шмидта		± 3	—	—	—	—	—	$-0,4 \dots +3,05$
K1TШ181Б	Триггер Шмидта		± 4	—	—	—	—	—	$-0,4 \dots +4,05$
K1TШ181B	Триггер Шмидта		± 4	—	—	—	—	—	$-0,4 \dots +4,05$
K1TШ181Г	Триггер Шмидта		$\pm 6,3$	—	—	—	—	—	$-0,4 \dots +6,35$
K1TШ181Д	Триггер Шмидта		$\pm 6,3$	—	—	—	—	—	$-0,4 \dots +6,35$
K1YБ181A	Видеоусилитель		+6,3	900	—	—	—	—	—
K1YБ181Б	Видеоусилитель		+6,3	1300	—	—	—	—	—
K1YБ181B	Видеоусилитель		+12,6	1500	—	—	—	—	—
K1YБ181Г	Видеоусилитель		+12,6	2000	—	—	—	—	—

Табл. 22.21. Параметры микросхем серии К122

Тип микросхемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряжение источника питания ($\pm 10\%$), В	Коэффициент усиления на частоте 12 кГц	Постоянное напряжение на выходе, В	Входное сопротивление, кОм	Напряжение входного сигнала, В
К1УБ221А К1УБ221Б К1УБ221В К1УБ221Г	Видеоусилители	Усилительные схемы предназначены для линейных и пороговых устройств	+6,3	900	5,5	—	—
+6,3			1300	5,5	—	—	
+12,6			1500	11	—	—	
+12,6			2800	11	—	—	
К1УС221А К1УС221Б К1УС221В К1УС221Г К1УС221Д	Двухкаскадные усилители переменного тока		+6,3	250	2,8	1,5	—
+6,3			400	2,8	1,5	—	
+12,6			350	9,6	1,5	—	
+12,6			500	9,6	1,5	—	
+12,6			800	9,6	1,5	—	
К1УС222А К1УС222Б К1УС222В	Каскадные усилители		+4	15	—	1	0,1
+6,3			25	—	1	0,1	
+6,3			40	—	1	0,05	
К1УТ221А К1УТ221Б К1УТ221В	Однокаскадные дифференциальные усилители		± 4	15	—	6	± 2 (синфазное) — $2 \dots +1$ (дифференциальное)
$\pm 6,3$			22	—	3	± 3 (синфазное) — $3 \dots +1$ (дифференциальное)	
$\pm 6,3$			22	—	6		
К1ТШ221А К1ТШ221Б К1ТШ221В К1ТШ221Г К1ТШ221Д	Триггеры Шмидта		± 3	—	$-0,05 \dots +2,7$	—	—
± 4			—	$-0,05 \dots +3,7$	—	—	
± 4			—	$-0,05 \dots +3,7$	—	—	
$\pm 6,3$			—	$+0,3 \dots +5,95$	—	—	
$\pm 6,3$			—	$+0,3 \dots +5,95$	—	—	

Табл. 22.25. Параметры микросхем серии К173

Термины параметров	К1УС731А	К1УС731Б	К1УС731В	К1УС732А	К1УС732Б	К1УС732В
Вид микросхемы	Интегральные полупроводниковые усилители низкой частоты					
Напряжение источника питания, В	$\pm 12,6 \pm 10\%$			$\pm 12,6 \pm 10\%$		
Диапазон рабочих частот, Гц	30...20000	30...20000	30...20000	30...20000	30...20000	30...20000
Коэффициент усиления по напряжению	200	200	80	50	50	20
Входное сопротивление, кОм, не менее	10	10	10	1	1	1
Коэффициент нелинейных искажений, %	0,5	3	10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Мощность выходная, Вт	1	1	0,5	1	1	0,5

Табл. 22.22. Параметры микросхем серии К123

Термины параметров	К1УС231А	К1УС231Б	К1УС231В
Вид микросхемы	Полупроводниковые интегральные усилители низкой частоты		
Назначение	Предварительное усиление сигналов низкой частоты		
Напряжение источника питания, В ($\pm 10\%$)	$+6,3$	$+6,3$	$+6,3$
Полоса пропускемых частот, кГц	0,02...100	0,02...100	0,02...100
Неравномерность частотной характеристики, дБ	1,4	1,4	1,4
Коэффициент усиления на частоте 1 кГц и $R_n=0,5$ кОм	300...500	100...350	30...500
Напряжение выходного сигнала, В	0,2...0,6	0,2...0,6	0,2...0,6
Напряжение входного сигнала, В	0,5	0,5	0,5
Входное сопротивление, кОм, не менее	10	10	10
Выходное сопротивление, Ом, не более	200	200	200
Коэффициент нелинейных искажений при $U_{вых}=0,5$ В, %, не более	2	2	5
Ток потребления, мА	15	15	15
Мощность потребления, мВт	100	100	100

Табл. 22.23. Параметры микросхем серий К153 и К740

Буквенные обозначения параметров	К1УТ531А	К1УТ531Б	К740УД1А	К740УД1Б
Вид микросхемы	Операционные усилители трехкаскадные			
K_{yU}	15000...80000	10000...100000	15000...80000	10000...100000
$U_{вых}$, В, не менее	± 10	± 9	± 10	± 9
$U_{см0}$, мВ, не более	7,5	7,5	7,5	7,5
$\Delta I_{вх}$, мкА, не более	0,5	0,6	0,5	0,8
$I_{вх}, I_{вх2}$, мкА, не более	1,5	2,0	1,5	2,0
$I_{пот}$, мА, не более	6,0	6,0	4,5	4,5
$U_{пит}$, В $\pm 10\%$	± 15	± 15	± 15	± 15
Диапазон рабочих температур, °С	-45...+85	-10...+85	-45...+85	-10...+85
$P_{пот}$, мВт	230	230	230	230
R_n , кОм	2	2	2	2
$R_{вх}$, кОм	200	200	200	200
$R_{вых}$, кОм	200	200	200	200

Табл. 22.24. Параметры микросхем серии К140

Термины параметров	К1УТ401А	К1УТ401Б	К1УТ402А	К1УТ402Б
Вид микросхемы	Операционные усилители постоянного или переменного тока			
Назначение	Предназначены для использования в аналоговых вычислителях в качестве нуль-органов аналого-цифровых преобразователей			
Напряжение источников питания, В:				
$U_{и,п}$	$+6,3 \pm 10\%$	$+12,6 \pm 10\%$	$+12,6 \pm 5\%$	$+6,3 \pm 5\%$
$U_{и,см}$	$-6,3 \pm 10\%$	$-12,6 \pm 10\%$	$-12,6 \pm 5\%$	$-6,3 \pm 5\%$
Потребляемый ток, мА, не более	4,2	8,0	8	5
Коэффициент усиления	400...4500	1300...12000	$(35...200) \cdot 10^3$	$(3...35) \cdot 10^3$
Входной ток, мкА, не более	8	12	0,7	0,7
Разность входных токов, мкА, не более	3	3	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$
Напряжение смещения нуля, мВ, не более	± 10	± 10	± 5	± 7
Напряжение выходного сигнала, В, не менее:				
положительной полярности	2,8	5,7	10	3
отрицательной полярности	2,8	5,7	10	3
Напряжение синфазного сигнала, В	± 3	± 6		
Напряжение дифференциального сигнала, В	$\pm 1,5$	$\pm 1,5$		
Максимальный входной ток, мкА	16	16		
Максимальный выходной ток, мА	20	20		
Максимальное напряжение источников питания (с учетом пульсации), В	$\pm 7,5$	± 15		
Сопротивление нагрузки, кОм	—	—	1	1

Табл. 22.26. Параметры микросхем серии К218

Тип микросхемы	Вид микросхемы	Назначение	Напряжение источника питания, В	Потребляемая мощность, мВт	Амплитуда входного импульса, В	Длительность входного импульса, мкс	Длительность фронта выходного импульса, мкс	Длительность спада выходного импульса, мкс	Сопротивление нагрузки, Ом	Емкость нагрузки, пФ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К2УИ181	Импульсный усилитель на положительную полярность	Назначение тонкопленочные схемы предназначены для применения в радиоэлектронной аппаратуре	$\pm 6,3 \pm 10\%$	22	1	0,3...1	0,1	0,1	400	100
К2УИ182	Импульсный усилитель на отрицательную полярность			31,5	1	0,3...1	0,1	0,1	400	100
К2УИ183	Импульсный биполярный усилитель			48,5	0,25	0,3...1	0,1	0,1	400	100
К2УС181	Усилитель промежуточной частоты			62	—	—	—	—	—	—
К2ДА181	Детектор амплитудный			13,8	—	4	—	—	1200	—
К2ТК181	Триггер с комбинированным входом			21	2,5...6	—	0,25	0,15	820	100
К2ГФ181	Мультивибратор			86	—	0,3	1	0,2	2000	100
К2ГФ182	Одновибратор			76	2,5...6	0,3	1	0,15	2000	100
К2ЛБ181	Схема совпадения импульсов положительной полярности			48,5	2...6	0,3	0,2	—	820	100
К2ЛН181	Инвертор положительных импульсов			0,48	2...6	0,3	0,15	0,2	—	—
К2ЛН182	Инвертор отрицательных импульсов	Линейно-импульсные гибридные в радиоэлектронной аппаратуре		27,8	2,7...6	—	0,15	0,25	—	—
К2ЛН183	Инвертор отрицательных импульсов малых амплитуд			27,5	1,1...4	—	0,15	0,25	—	—
К2УЭ181	Эмиттерный повторитель на положительную полярность			6,9	4	—	0,15	0,1	400	100
К2УЭ182	Биполярный эмиттерный повторитель			33	0,8	0,8...1,5	0,1	0,1	400	100

Табл. 22.27. Параметры микросхем серии К224

Тип микросхемы	Вид микросхемы	Назначение	Крутизна вольт-амперной характеристики на частотах, мА/В		Входное сопротивление на частоте 10 МГц, кОм	Ток потребления, мА	Мощность потребления, мВт	Напряжение источника питания, В	Напряжение смещения, В	Диапазон рабочих частот, МГц	Коэффициент усиления, не менее	Неравномерность частотной характеристики, дБ
			0,15—30 МГц	30—110 МГц								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K2УС241 K2УС2413	Каскодный усилитель	Радиопелательная и телевизионная приемно-усилительная аппаратура	30	12	0,15	24	20...50	+5,4 12	+3±5%	0,15...110 30...45	—	—
K2УС242 K2УС243	Универсальный усилитель		25 25	— 10	0,15 0,15	1,8 1,8	15 25	+3,6...9 +3,6...9	+3±5% +3±5%	0,15...33 —	— —	— —
K2УС244 K2УС245	Предварительный УНЧ, работающий на согласующий трансформатор, на бестрансформаторный выходной усилитель		— —	— —	20 15	6 5,5	50 80	+5,4...9 +5,4...12	— —	80Гц...20кГц 80Гц...20кГц	100 140	— 1
K2ЖА241	Смеситель и гетеродин тракта: УКВ-ЧМ		4	—	0,15	3	30	4±25%	—	65—120 (гетерод.) 10—110 (смес.)	—	—
K2ЖА242	Амплитудная модуляция (АМ)		18 (смесит.) 14 (гетерод.)	—	0,5	2,8	10	+3,6...9,0 (смесит.) +4±25% (гетерод.)	+3±5% (смес.)	0,15—30 (смесит.) 0,5—30 (гет.)	0,3	—
K2ЖА243 K2ЖА245	Детектор АМ и усилитель АРУ в трактах АМ		—	—	0,5	—	10	+3±5% +24±10%	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K2УП241	Смеситель в трактах АМ и УКВ-ЧМ		10	5	—	3,5	20	+5,4...9	+3±5%	0,15...110	—	
K2ПП241	Стабилизатор напряжения малой мощности		—	—	—	2,5	—	—	—	—	5(коэффициент стабилизации)	
K2ТС241	Триггер универсальный для развертки		—	—	—	10	120	+12±10%	—	10...20кГц	—	
K2УС246	Регулируемый усилитель		—	25	—	8	90	12±10%	—	30...45	—	1
K2УС248	Усилители ПЧ звукового канала		1000	—	—	15	300	12±10%	—	4...10	—	3
K2УС2414			2000	—	—	15	300	12±10%	—	4...10	—	3
K2КТ241	Электронный ключ		—	—	—	15	180	12±10%	—	3...6	0,8	3
K2УС249	Усилитель универсальный		20	—	—	4	50	12±10%	—	0,5...50	—	6
K2ЖА244			2	—	—	10	120	12±10%	—	3...6	—	3
K2ЖА256	Усилители-ограничители		2	—	—	10	120	12±10%	—	3...6	—	3
K2УС247	Усилитель выходной ПЧ изображения		—	70	—	28	300	12±10%	—	30...45	—	3
K2СА241	Амплитудный селектор		—	—	—	—	—	12±10% 24±10%	—	—	—	—
K2УБ241	Предварительные видеоусилители		—	—	—	—	—	12±10%	—	0...6,5	20	—
K2УБ242			—	—	—	—	—	12±10%	—	3...6	10	—
K2УС2410	Выходные усилители устройства задержки		—	—	—	—	—	12±10%	—	—	—	—
K2УС2412			—	—	—	—	—	12±10%	—	—	—	—
K2УС2411	Матрица канала цветности		—	—	—	—	—	12±10%	—	0...2	2	—
K2ДС241	Детекторы частотные		—	—	—	—	—	12±10%	—	5...110	0,15	—
K2ДС242			—	—	—	—	—	12±10%	—	5...110	0,15	—

Табл. 22.28. Параметры микросхем серии K228

Термины параметров	K2УС281	K2УС282	K2УС283	K2УС284	K2СЛ281	K2КД281	K2НК281	K2НЕ281	K2ПД281	2ПД282
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Вид микросхемы	Линейно-импульсные гибридные тонкопленочные схемы									
	Усилитель универсальный	Усилитель регулируемый	Усилитель каскодный	Усилитель балансный	Схема сравнения токов	Ключ диодный	Матрица комбинированная	Сборка конденсаторная	Преобразователь декодирующий	
Назначение	Радиоэлектронная аппаратура									
Напряжение источника питания, В	$+6,3 \pm 10\%$	$+6,3 \pm 10\%$	$+6,3 \pm 10\%$	$+6,3 \pm 10\%$	$+6,3 \pm 10\%$	—	—	$-6,3 \pm 10\%$	$-6,3 \pm 10\%$	
Напряжение смещения, В	$-6,3 \pm 10\%$	$-6,3 \pm 10\%$	$-6,3 \pm 10\%$	$-6,3 \pm 10\%$	$-6,3 \pm 10\%$	—	—	—	—	
Потребляемая мощность, мВт	70	70	70	85	65	100	—	—	50	50
Крутизна вольт-амперной характеристики на частоте входного сигнала, мА/В:										
5 МГц	$10 \pm 10\%$	$10 \pm 10\%$	$10 \pm 10\%$	5	—	—	—	—	—	—
60 МГц	7,5	7,5	7,5	—	—	—	—	—	—	—
Пределы изменения крутизны вольт-амперной характеристики на частоте входного сигнала 60 МГц, дБ	—	40	—	—	—	—	—	—	—	—
Раствор регулировочной характеристики по управляющему напряжению между уровнями от 1 до 40 дБ, В	—	$\pm 1,25$	—	—	—	—	—	—	—	—
Входное сопротивление на частоте 60 МГц, Ом	200	200	200	200	—	—	—	—	—	—
Выходное сопротивление, кОм	10	100	100	50	—	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ток коллектора, мА	2,9—4,3	2,8—4,8		2—2,8	—	—	—	—	—	—
Напряжение выходного сигнала, В	—	—	—	—	—0,4...+ +2,3	0,15... ...0,17 (при отпертом ключе)	—	—	—	—
Чувствительность по входному току при изменении выходного напряжения от +2,3 до —0,4 В (ток срабатывания), мкА	—	—	—	—	≤ 20	—	—	—	—	—
Уровень постоянного напряжения на входе, В	—	—	—	—	1,3...1,4	—	—	—	—	—

Примечания:

Микросхема К2КД281

1. Коэффициент передачи в отпертом состоянии при $R_H = 300$ Ом на частоте 25 МГц $-0,8 \pm 0,1$.
2. Отношение коэффициентов передачи в отпертом и запертом состояниях: на частоте 15 МГц — 40 дБ, на частоте 60 МГц — 30 дБ.
3. Уровень ограничения выходного сигнала при $R_H = 0,3$ кОм — 0,4 В.
4. Сопротивление нагрузки 300 Ом.
5. Уровни напряжений управляющих сигналов: верхний — +2,5 В, нижний — +0,5 В.

Микросхема К2НК281

1. Относительный разброс прямого напряжения на диодах при прямом токе 1 мА не более 15%.
2. Относительный разброс сопротивлений резисторов не более 1,1%.
3. Прямой ток каждого диода не более 5 мА.

Микросхема К2НЕ281

1. Емкость каждого конденсатора не менее 800 пФ.
2. Рабочее напряжение конденсаторов не более 15 В.
3. Тангенс угла потерь — 0,035.

Микросхемы К2ПД281, К2ПД282

1. Токи разрядов кода:

1-й разряд — $I_1 = I_3 \pm 3\%$; 2-й разряд — $I_2 = I_3 \pm 3\%$; 3-й разряд — $I_3 = (1,81 - 2,29)$ мА; 4-й разряд — $I_4 = 1/2 I_3 \pm 3\%$; 5-й разряд — $I_5 = 1/4 I_3 \pm 5\%$; 6-й разряд — $I_6 = 1/8 I_2 \pm 10\%$; 7-й разряд — $I_7 = 1/16 I_3 \pm 20\%$,
 2. Управляющее напряжение ± 1 В.

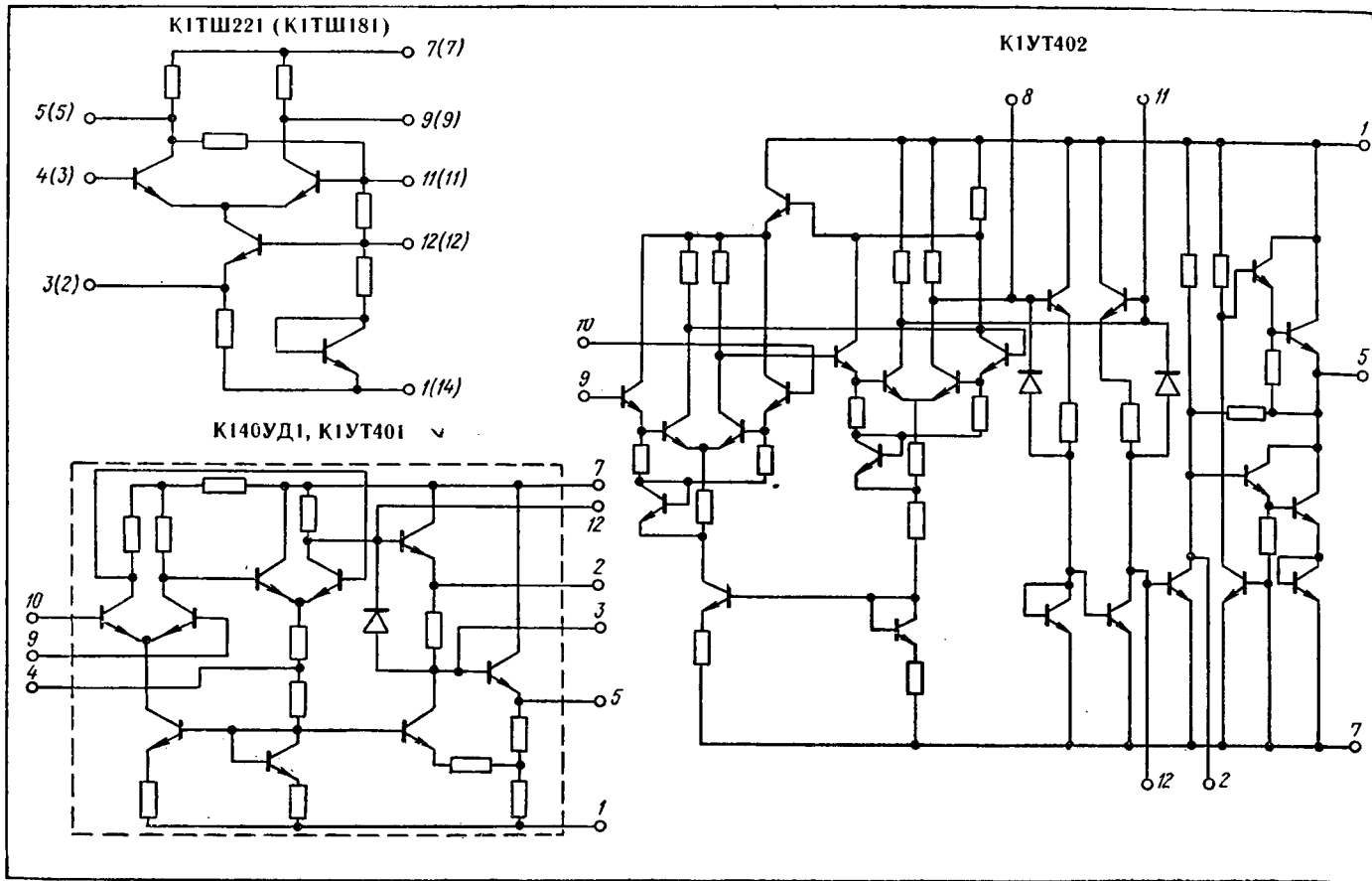
Табл. 22.29. Параметры микросхем серии К237

Термины параметров	К2ЖА371	К2ЖА372	К2ЖА373	К2УС371	К2УС372	К2УС373	К2ГС371
1	2	3	4	5	6	7	8
Вид микросхемы	УВЧ и преобразователь в трактах АМ	УПЧ, детектор и АРУ	Совмещенные оконечный усилитель записи и усилитель с выпрямителем для индикатора уровня записи	Усилители низкой частоты		Усилитель записи и воспроизведения для магнитофонов	Стабилизатор напряжения питания и транзисторы генератора тока стирания и подмагничивания магнитофонов
Назначение	Приемно-усилительная аппаратура						
Коэффициент усиления в режиме преобразования	100...250	1000...2300	6...7	—	—	1800	—
Коэффициент шума в режиме преобразования, дБ	6	—	—	—	—	—	—
Напряжение гетеродина на частоте 15 МГц, мВ	300—450	—	—	—	—	—	—
Потребляемый ток, мА	3	4	4	—	—	2,5	30
Напряжение питания, В	$+5^{+1}_{-1,4}$	$+5^{+1}_{-1,4}$	$+5^{+0,5}_{-1,0}$	$+9^{+1}_{-3,4}$	$+12^{+3}_{-4,8}$	$+5^{+0,5}_{-1,0}$	$+9^{+1}_{-3}$
Мощность потребления, мВт	25	25	22	50	225	14	300
Уменьшение усиления в режиме преобразования на частоте 15 МГц по отношению к усилению на частоте 150 кГц, дБ	5	—	—	—	—	—	—
Коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения детектора, %	—	3	0,6	0,3	1	0,7	—
Входное сопротивление, Ом	—	430...1600	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
Изменение выходного напряжения НЧ детектора при изменении напряжения ВЧ на входе усилителя ПЧ от 50 до 3000 мкВ, дБ	—	6	—	—	—	—	—
Номинальное выходное напряжение, В	—	—	—	1,8	3,5	—	—
Номинальное входное напряжение, мВ	—	—	—	15...30	25...50	—	—
Частотная характеристика (при неравномерности ± 6 дБ), кГц	—	—	—	0,06...10	0,05...15	—	—
Эквивалентное напряжение шумов на выходе при закороченном входе, мВ, не более	—	—	—	—	—	2	—
Стабилизированное напряжение, В							4,4...5,4

Табл. 22.30. Параметры микросхем серии К242

Тип микросхемы	Вид микросхемы	$U_{н.п.}$, В	$P_{пот}$, мВт	$K_{у.ч}$	$I_{пот}$, мА	$R_{вх.}$, кОм	$K_{г.}$, %	Назначение
К2ЖЛ421	Гибридная универсального назначения	$+9 \pm 10\%$	45	$(20 \dots 45) \cdot 10^3$	5,5	0,5	5	Усилители промежуточной частоты, АРУ, детекторы, предварительные УНЧ



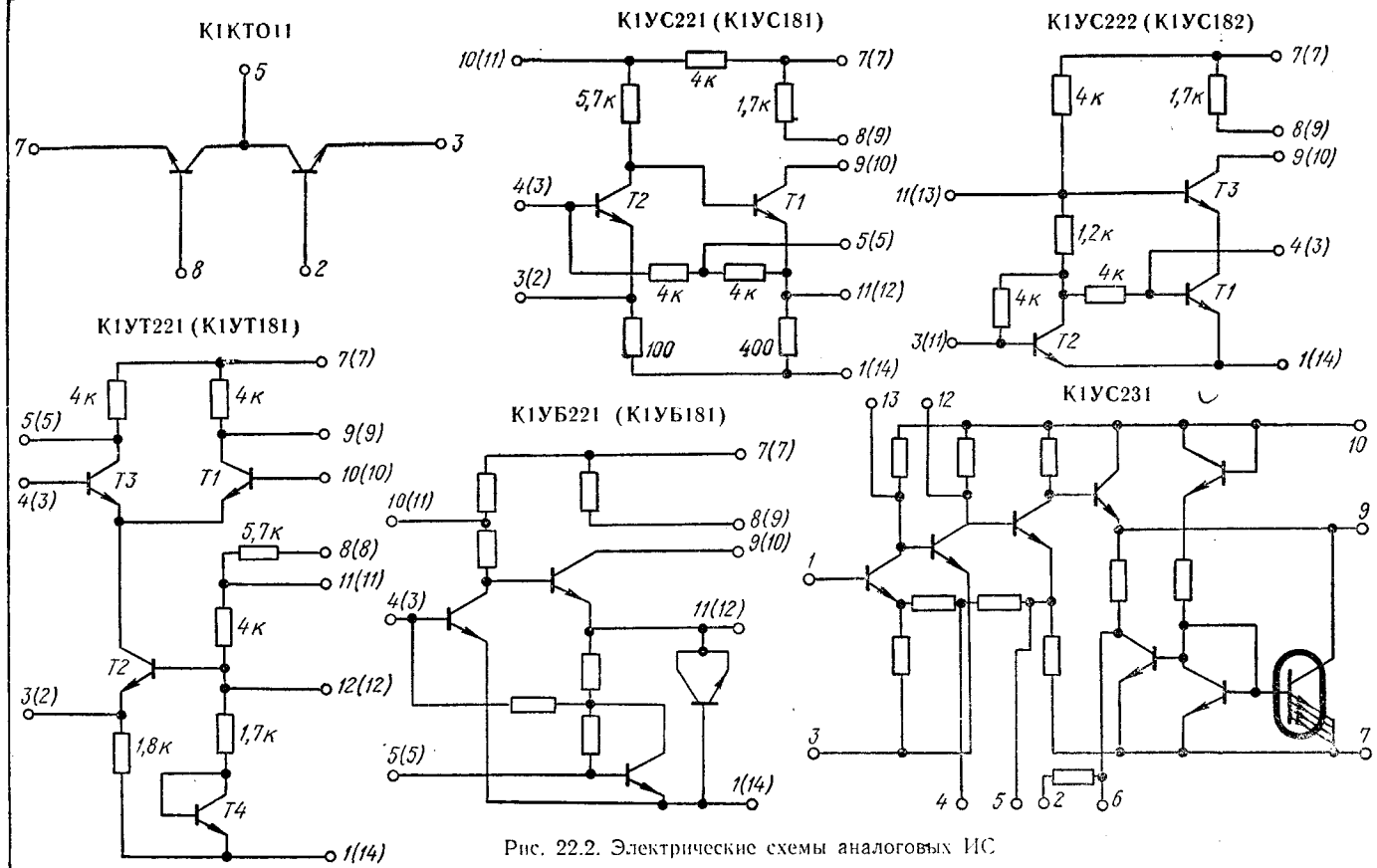
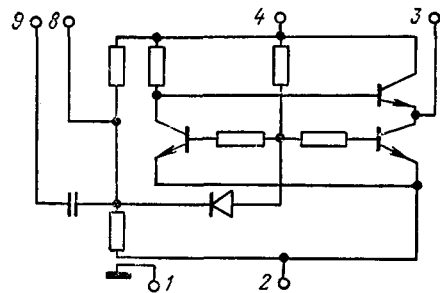
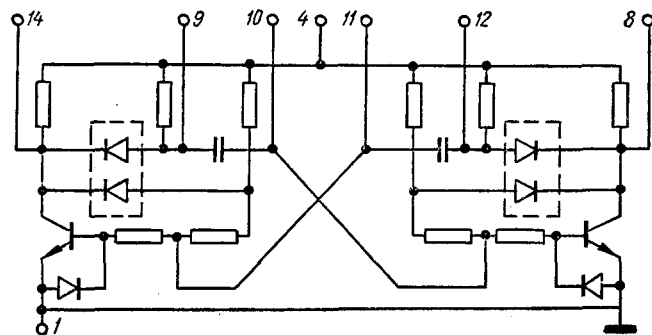


Рис. 22.2. Электрические схемы аналоговых ИС

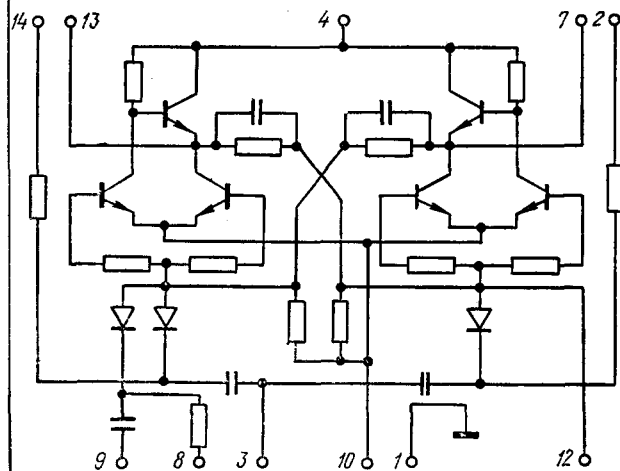
K2ЛН183



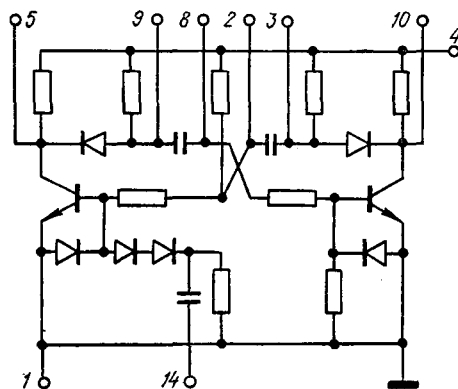
K2ГФ181



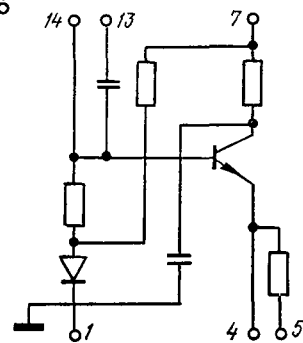
K2ТК181



K2ГФ182



K2ДА181



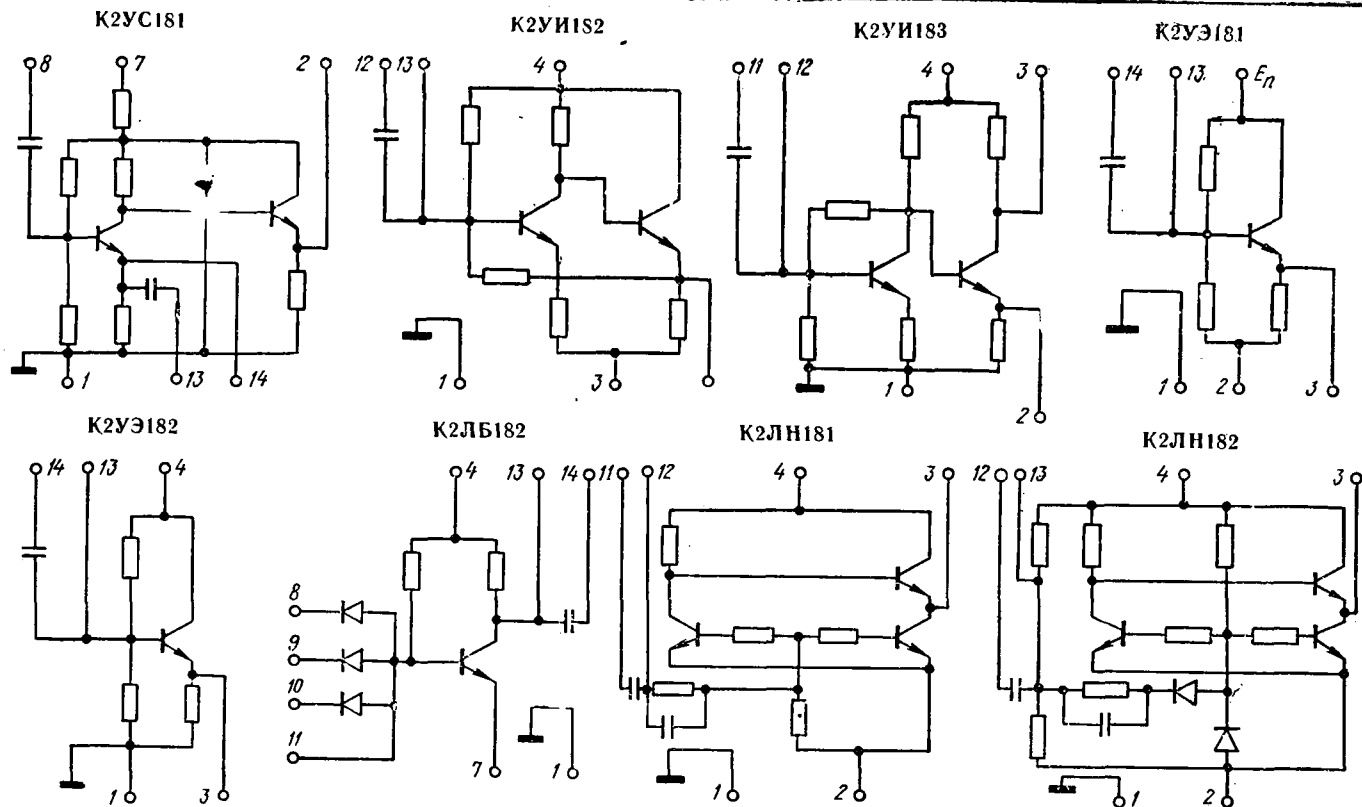
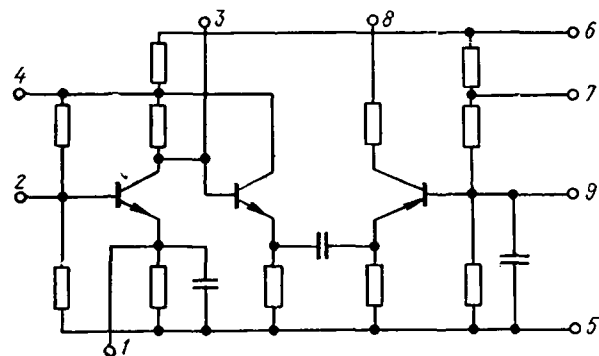
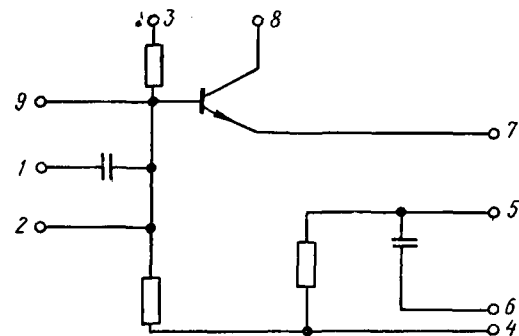


Рис. 22.2 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

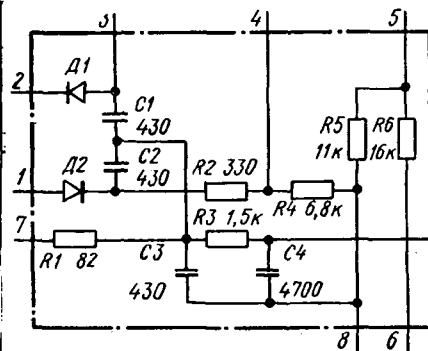
К2УС248



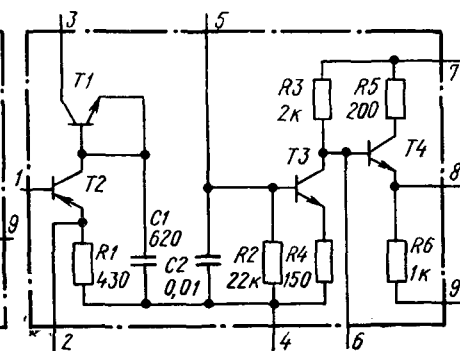
К2УС249



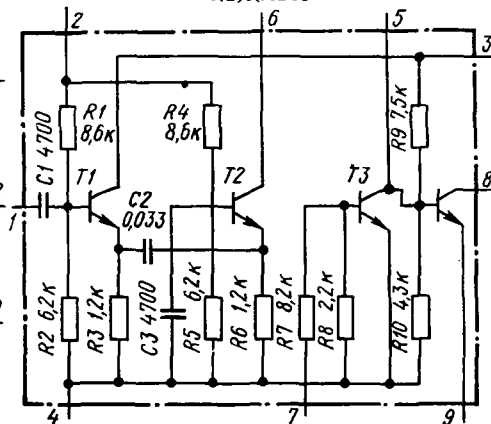
К2ДС242



К2ЖА245



К2ЖА246



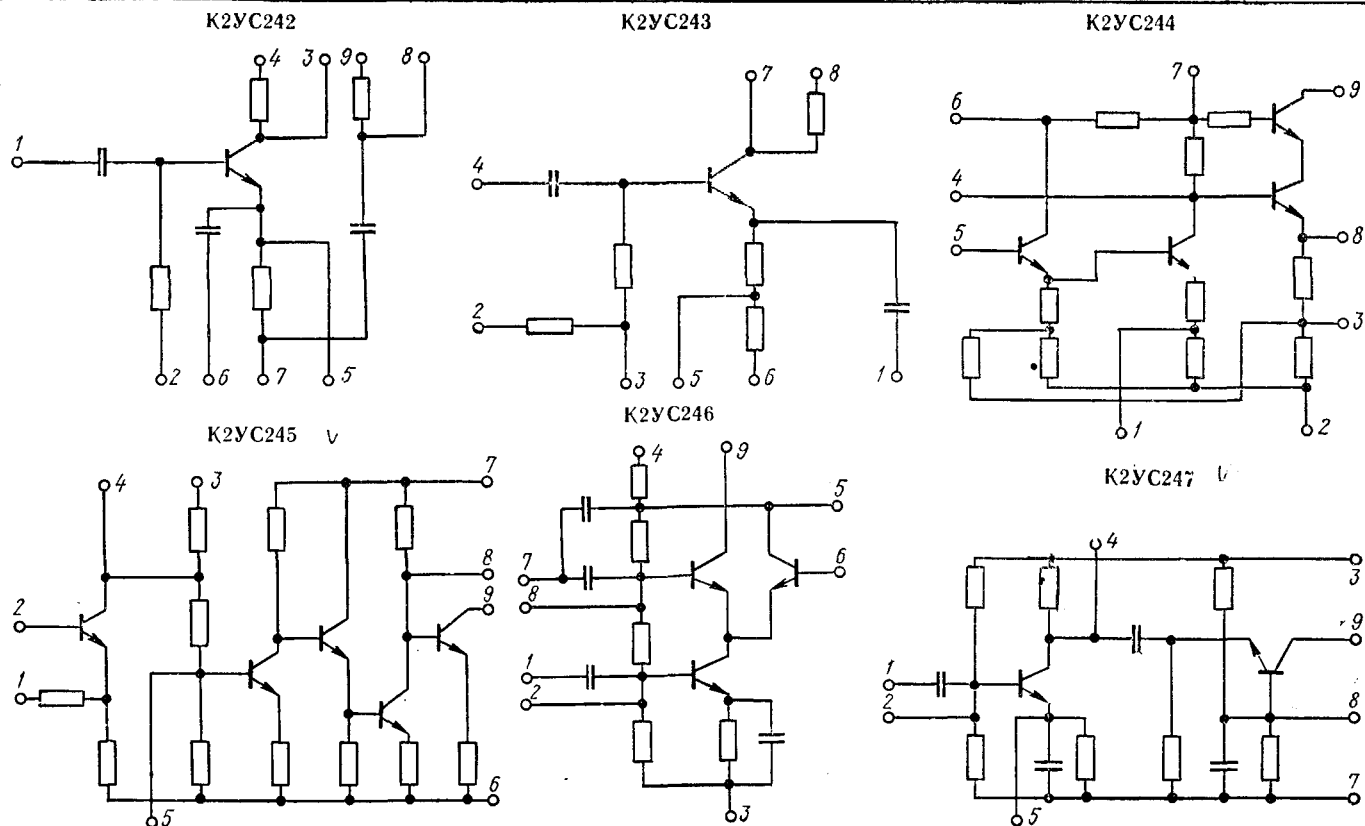
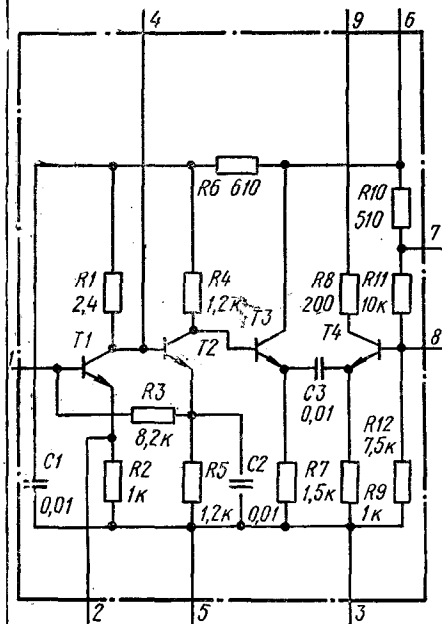
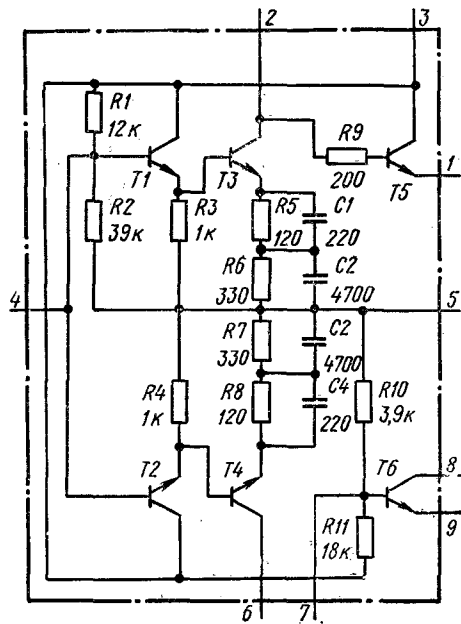


Рис. 22.2 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

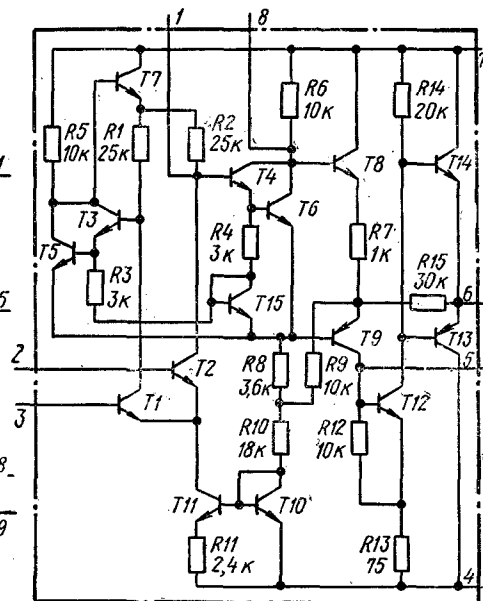
К2УС2414



К2УС2412



К1УТ531, К740УД1



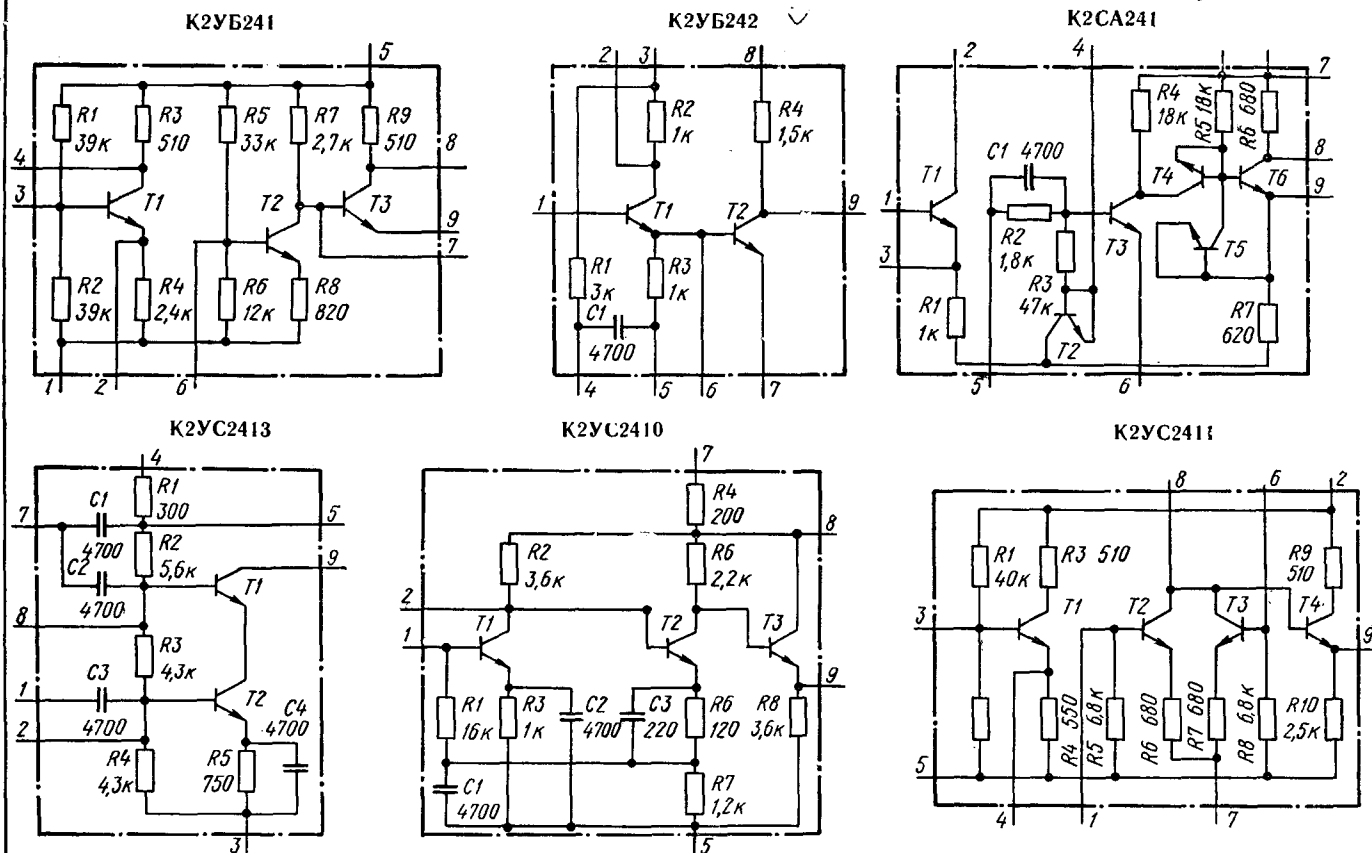
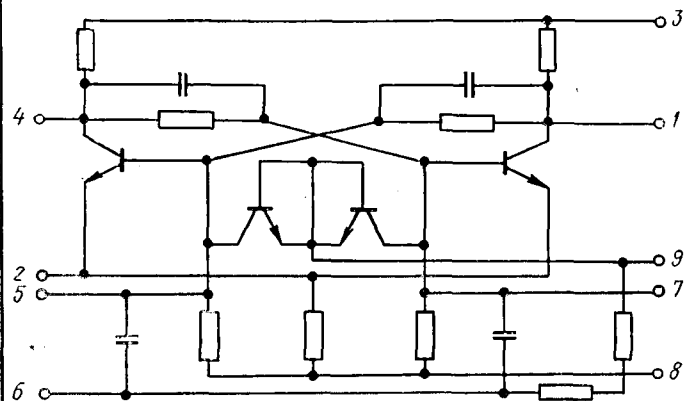
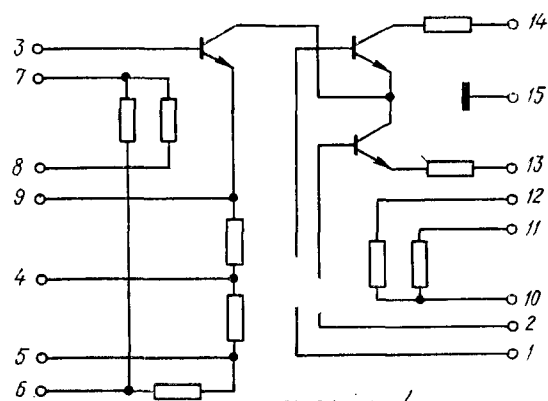


Рис. 22.2 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

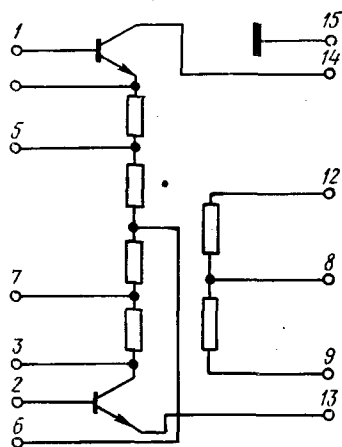
K2TC241



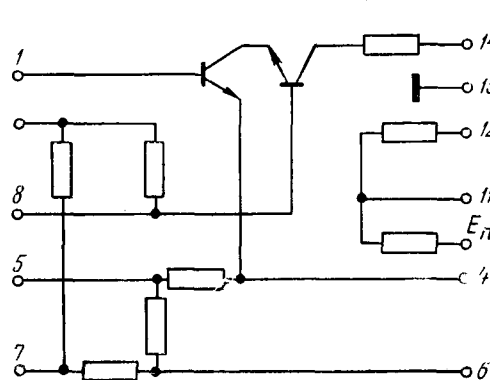
K2YC282



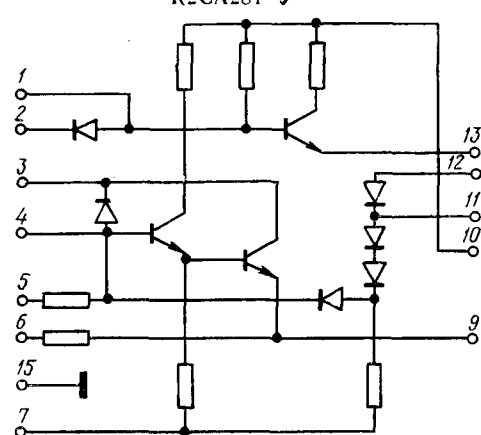
K2YC284



K2YC283



K2CA281 ✓



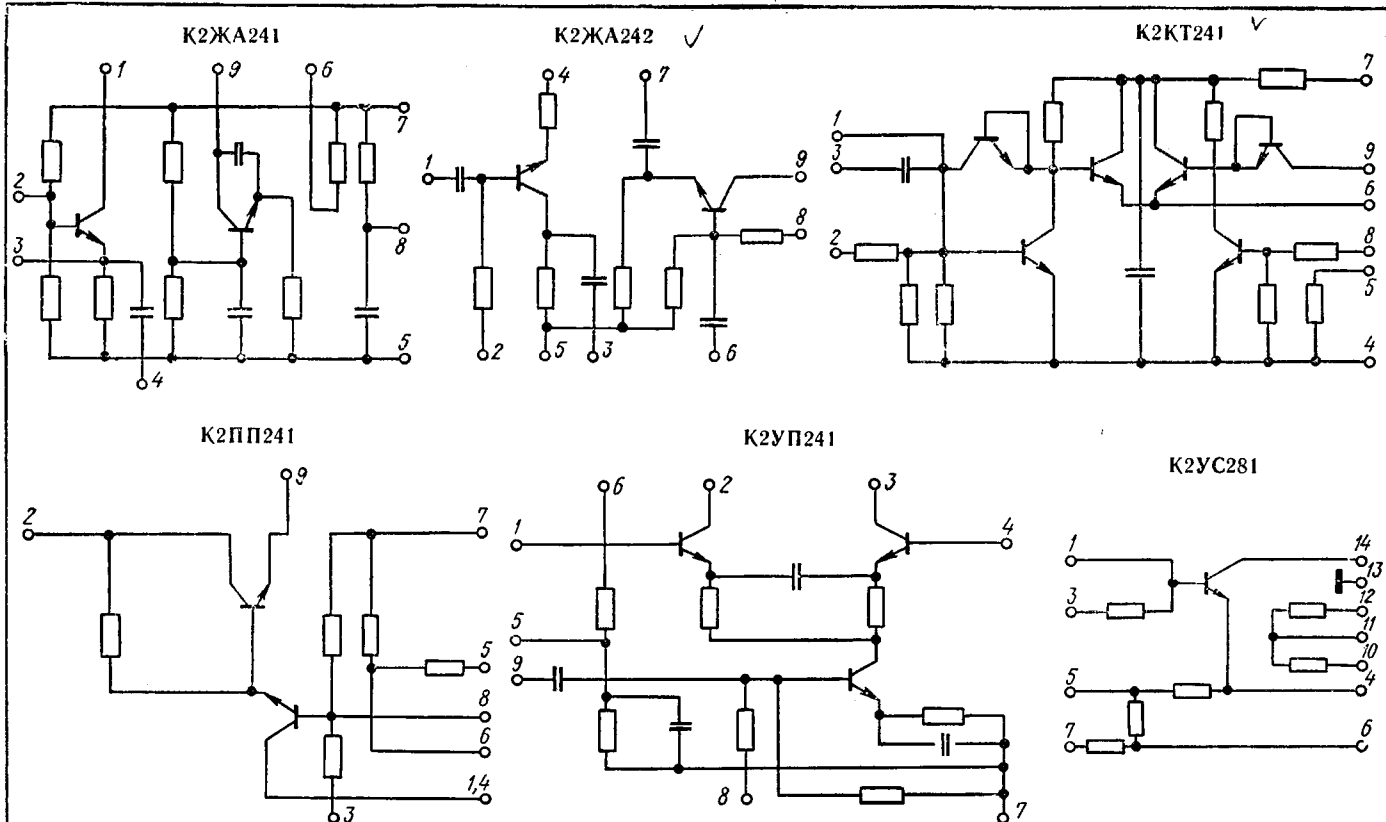
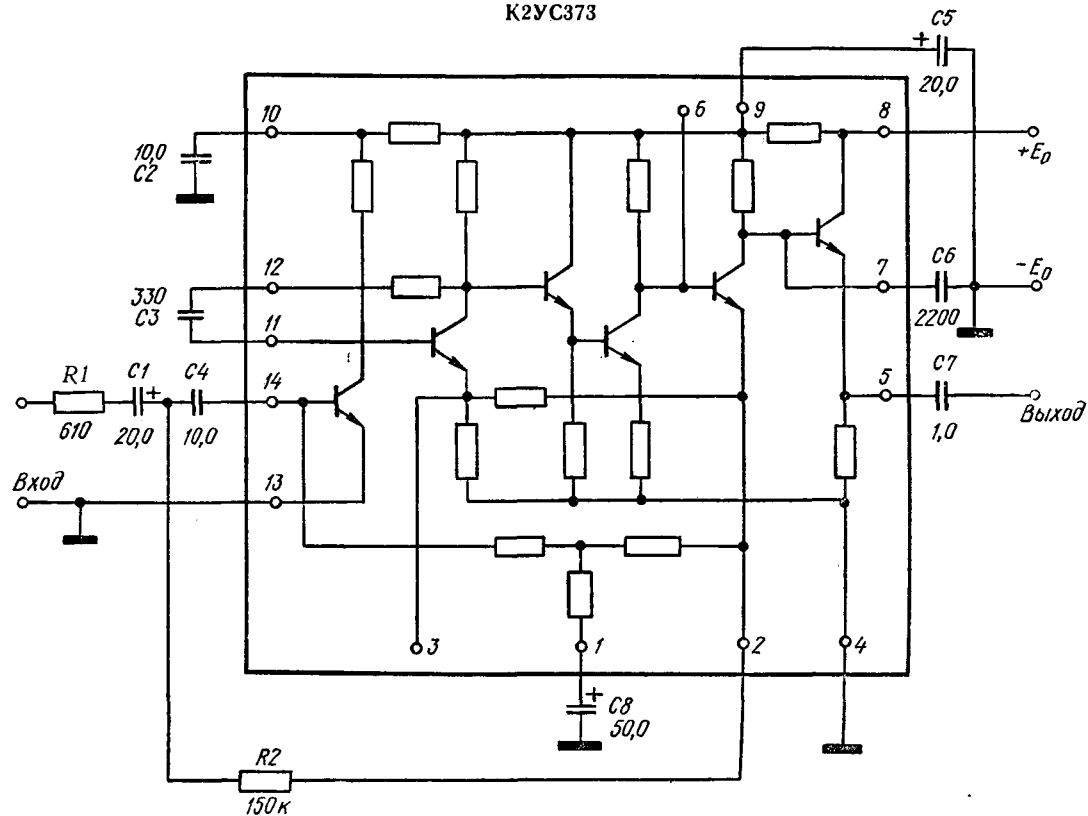


Рис. 22.2 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

K2YC373



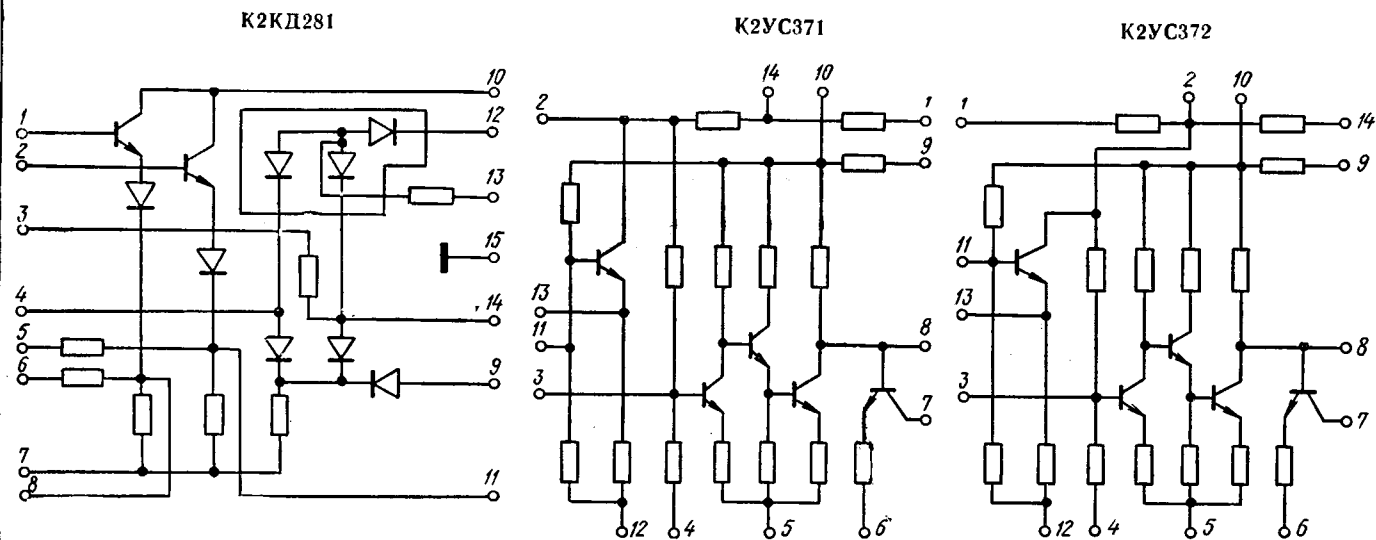
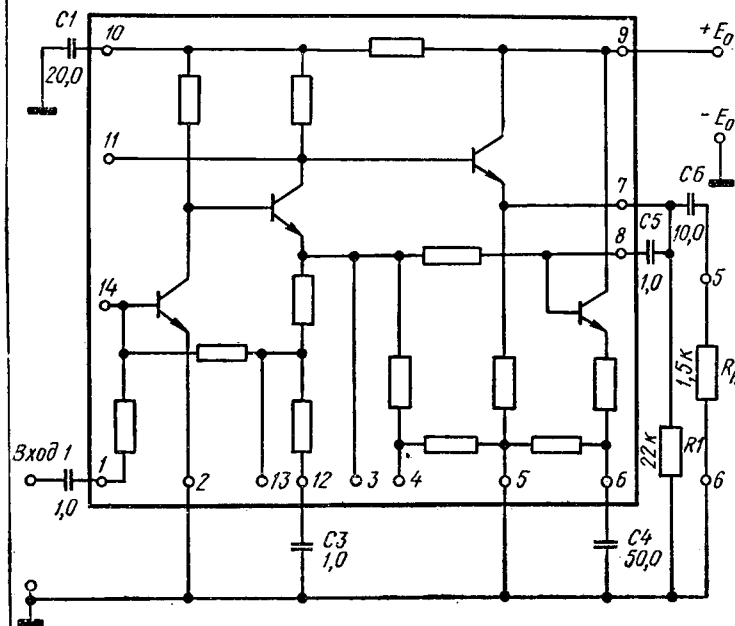


Рис. 22.2 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

К2ЖА373



К2ГС371

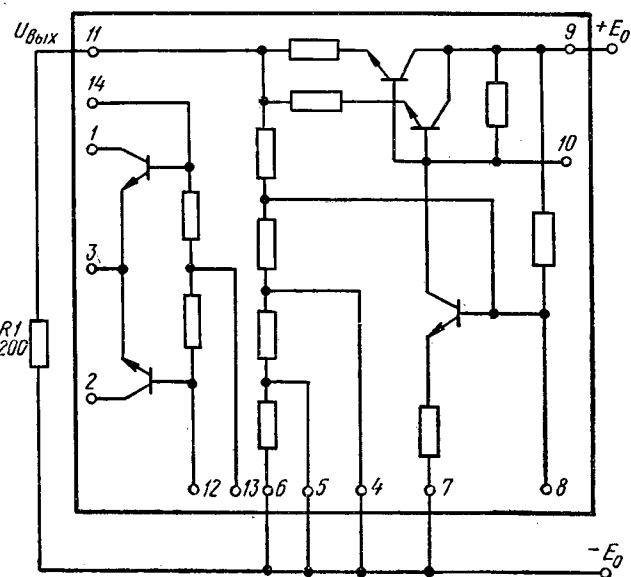


Рис. 22.2 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

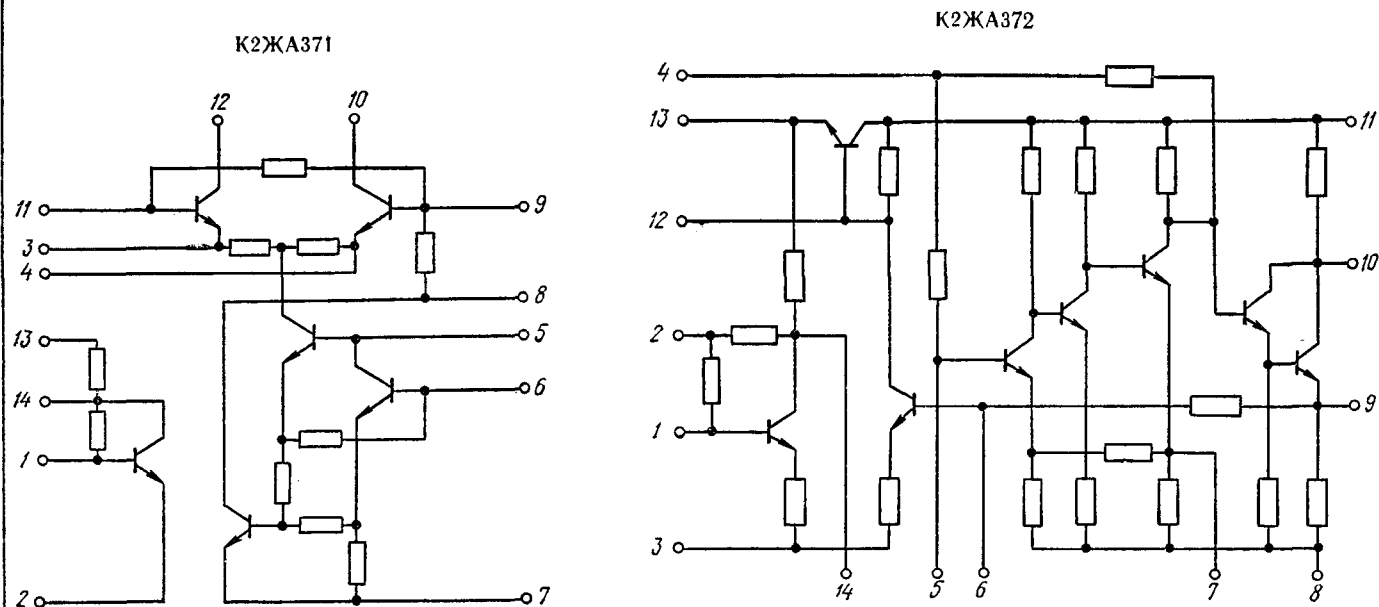


Рис. 222 (продолжение). Электрические схемы аналоговых ИС

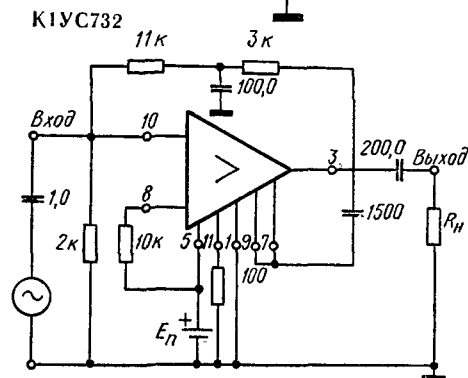
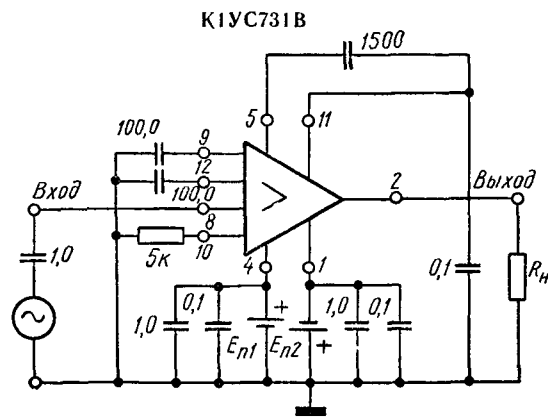
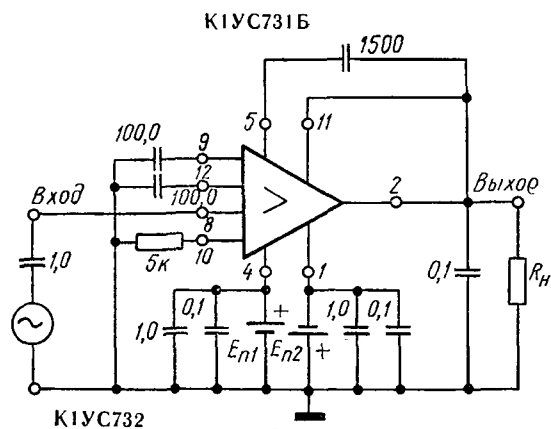
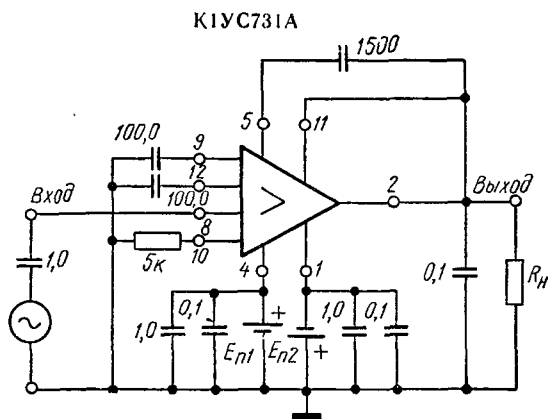


Рис. 22.3. Схемы включения усилителей

ЛИТЕРАТУРА

- Бодилковский В. Г., Смирнова М. А. Справочник молодого радиста. «Высшая школа». М., 1968.
- Голубев Ю. Л., Жукова Т. В. Электровакуумные приборы. Справочник. «Энергия». М., 1969.
- Гуревич Б. М., Иваненко Н. С. Справочник молодого рабочего по электронике. «Высшая школа». М., 1974.
- Диоды и тиристоры. Под общ. ред. А. А. Чернышева. «Энергия». М., 1975.
- Добрыневский О. В. Справочник по радиоэлектронике. «Вища школа». К. 1971.
- Кацнельсон Б. В., Ларионов А. С. Отечественные приемно-усилительные лампы и их зарубежные аналоги. Справочник. «Энергия». М., 1968.
- Кацнельсон Б. В. и др. Электровакуумные электронные и ионные приборы. Справочник (книга первая). «Энергия». М., 1970.
- Кацнельсон Б. В. и др. Электровакуумные электронные и ионные приборы. Справочник (книга вторая). «Энергия». М., 1970.
- Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам (изд. третье). Под общ. ред. Н. Н. Горюнова. «Энергия». М., 1972.
- Транзисторы. Под общ. ред. А. А. Чернышева. «Энергия». М., 1975.
- Транзисторы. Справочник. Под общ. ред. И. Ф. Николаевского. «Связь». М., 1969.
- Чебовский О. Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы. Справочник. «Энергия». М., 1975.

Акцепторные примеси 98
Анодная характеристика 15
Анодно-сеточная характеристика 15, 23

Бездрейфовый транзистор 210

Барактор 204

Варикап 109, 110, 113, 204, 205...207

Вентиль 149...162

— автотракторный 160, 161

— высокочастотный 159, 160

Время включения тиристора 322

— — транзистора 218

— — — однопереходного 263

— выключения тиристора 322

— — транзистора 218

— — — двухэмиттерного 264

— задержки тиристора 317

— — транзистора 218

— — включения и выключения интегральной микросхемы 406

— — распространения интегральной микросхемы 406

— запаздывания тиристора 317

— нарастания тиристора 317

— — транзистора 218

— послесвечения экрана 56, 57

— рассасывания транзистора 218

— спада тиристора 317

— — транзистора 218

Гептод 8, 16, 19

Граничная частота коэффициента передачи тока транзистора 218, 221

Декатроны 67, 69, 77, 83, 85, 86, 87

Диод двухбазовый 261

— ламповый 16, 17, 18, 22, 26, 27

— полупроводниковый 93...207

— — выпрямительный 107, 109, 110, 113, 120...121, 122, 123, 124, 125

— — — большой мощности (вентиль) 149...162

— — диффузионный (меза-диод) 109, 162

— — излучающий (светодиод) 110, 111, 114, 384...386, 387...388

— — микрорельефной 107

— — обращенный 109, 113, 173, 177

— — плоскостной 107, 121

— — преобразовательный 107

Диод полупроводниковый сверхвысокочастотный (СВЧ) 109, 110, 164, 177, 178...179, 180, 181...190

— — силовой 107

— — сплавной 109

— — точечный 107

— — туннельный 109, 110, 113, 164, 170...176, 177

— — универсальный (высокочастотный) 109, 110, 162, 165, 166

Дифференциальное сопротивление полупроводникового диода 106, 164

— — варикапа 207

— — отрицательное 164

— — стабилитрона 193

Диффузионный переход 103

— ток 100

Донорные примеси 98

Дробовый эффект 13

Дрейфовый ток 97, 99

— транзистор 210

Емкость входная лампы 14, 45

— — транзистора 217

— выходная лампы 14, 45

— — транзистора 217

— коллекторного перехода 218, 221

— проходная лампы 14, 45

— эмиттерного перехода 218

Законы фотоэффекта 356, 357

Зона валентная 95, 102

— возбуждения 95

— заполненная 96, 102

— запрещенная 102

— проводимости 95, 102

— разрешенная 102

Индикатор вакуумный люминесцентный 77, 82, 84

— знаковый 75, 76, 78...81

— линейный аналоговый 76, 77, 78...81

— тлеющего разряда сигнальный (неоновая лампа) 67, 68, 83, 87...90

— электронно-световой 8, 19, 31

Интегральная микросхема 364

Ионные электровакуумные приборы 66...92

Квантовый выход 363

Кинескоп 48, 49, 50, 51, 54, 55, 62, 63, 64, 65

¹ Составлен А. П. Ткаченко

Контраст 62

Коэффициент нелинейных искажений 15

— гармоник микросхемы 407

— объединения по входу микросхемы 407

— передачи статический транзистора 217

— однопереходного транзистора 263

— тока транзистора 216

— перекрытия по емкости варикапа 207

— разветвления по выходу микросхемы 407

— усиления лампы (статический) 12, 23

— — фотоэлектронного умножителя 363, 366, 369

— широкополосности лампы 14, 35

— шума нормированный смесительного диода 179

— — транзистора 218, 297

Кремниевые симметричные ограничители напряжения (КСОН) 161, 162

Крутизна преобразования лампы 13

— характеристики 12, 45

Критическая частота переключающего диода 179

Лавинный транзистор 225

Максимальная частота генерации транзистора 218, 221

— — — однопереходного транзистора 263

Меза-диод 162

Мезаструктура 104

Микроплоскостной диод 107

Микросхемы 394

— интегральные 394

— — аналоговые (линейно-импульсные) 398, 402...408, 409, 431, 439...465

— — гибридные 394

— — полупроводниковые 394

— — пленочные 394

— — степень интеграции 397

— — цифровые (логические) 398, 402...408, 409, 410...430, 432...438

Напряжение повторяющееся и неповторяющееся вентиля 152

— — — тиристора силового 321, 322

— логической единицы 403

— логического нуля 404

— модуляции 56

Напряжение полупроводникового диода постоянное прямое 105

— — — пробивное 105

— пика и впадины туннельного диода 164

— раствора туннельного диода 164

— стабилизации стабилитрона 192

— электрода лампы 10

Носители заряда неосновные 98, 103

— — основные 98, 103

— неравновесные 103

Нувистор 37, 38

Обращенный диод 109, 113, 173, 177

Октод 8, 16

Оптрон 386

— диодный 114, 115

— резисторный 114, 389...390

— тиристорный 114, 390...393

Основные и неосновные носители заряда 98, 103

Осциллографическая трубка 48, 50, 51, 55, 56, 58...59, 60...61, 62

Отрицательное дифференциальное сопротивление 164

Параметры генераторных, модуляторных, регулирующих ламп 46

— диодов ламповых 22

— интегральных микросхем аналоговых 402...408, 431, 439...465

— — — цифровых 402...408, 409, 410...430, 432...438

— индикаторов настройки 35

— ионных приборов тлеющего разряда 69, 70, 71, 74, 79...80, 82, 85, 90, 91

— кинескопов 62, 63

— комбинированных ламп 34

— кремниевых симметричных ограничителей напряжения 161, 162

— нувисторов 37

— оптронов резисторных 389...390, 392

— — — тиристорных 390, 393

— осциллографических трубок 56, 58...59

— пентодов 16, 29...30, 36, 37

— полупроводниковых диодов 101...107, 122, 123...324, 125

— — — большой мощности (вентилей) 151, 152, 154, 155, 157...159, 160

— — — варикапов 205, 206, 207

— — — сверхвысокочастотных 177...180

— — — генераторных, модуляторных 190

Параметры полупроводниковых диодов сверхвысокочастотных детекторных 184
 — — — параметрических 185...186
 — — — переключательных 181...183
 — — — умножительных 189, 190
 — — — туннельных 164, 169, 170, 174...176
 — — — обращенных 177
 — — — универсальных 165...167
 — — — автотракторных вентилях 161
 — — — выпрямительных блоков 128
 — — — столбов 127
 — — — высокочастотных вентилях 160
 — — — импульсных диодных сборок 168, 169
 — — — светодиодов 387...388
 — — — селеновых выпрямителей 131, 132...149
 — — — выпрямительных столбов и блоков 129...131
 — — — элементов 117, 118
 — — — стабилитронов, стабилиторов 192, 193...194, 196...204
 — — — тетродов 16, 28
 — — — тиристоров 313...323
 — — — быстродействующих 348, 349
 — — — высокочастотных 347
 — — — лавинных 350
 — — — гибридных 355
 — — — диодных 324
 — — — импульсных 347, 348
 — — — роторных 349
 — — — силовых 335, 336...339
 — — — триодных 340...342
 — — — симметричных 353...354
 — — — триодных 328...333
 — — — запираемых 344, 345
 — — — транзисторов биполярных 215...220, 226...260
 — — — двухэмиттерных 263, 264, 266, 292
 — — — лавинных 260, 262
 — — — однопереходных 263, 265, 292
 — — — полевых 292, 296, 297, 301...305
 — — — чехословацкого производства 267...271
 — — — транзисторных матриц 266, 267
 — — — элементов серии «Логика-Т» 271...275
 — — — триодов ламповых 16, 24...25, 36, 37
 — — — фотодиодов 375...377, 382
 — — — фоторезисторов 375...377, 380
 — — — фототиристоров 385

Параметры фототранзисторов 375...377, 384
 — фотоэлементов 362, 363
 — фотоэлектронных умножителей 362, 363, 369...371
 — электрометрических ламп 40
 Пентод 8, 16, 19, 23, 29...30, 32...33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 ^
 Переход выраженный 104
 — диффузионный 103
 — конверсионный 104
 — микросплавной 104
 — планарный 104
 — плоскостной 103
 — сплавной 104
 — точечный 103
 — электронно-дырочный 98, 103
 — эпитаксиальный 104
 Полупроводник дырочный 98
 — простой 101
 — сложный 102
 — собственный 102
 — электронный 98
 Полупроводниковый выпрямительный блок 107, 125
 — — столб 107, 109, 110, 113, 122, 125, 127...148
 Пробой лавинный 101
 — тепловой 101
 — туннельный 101
 Приборы электровакуумные ионные 66...92
 — — электронные 7...47
 — — электронно-лучевые 48...65
 — — оптоэлектронные 386...393
 — — полупроводниковые диодные 93...207
 — — транзисторные 208...305
 — — тиристорные 306...355
 — — фотоэлектрические 356...393

Разряд дуговой 67
 — коронный 67
 — самостоятельный 66
 — темный 66
 — тлеющий 66
 Разрешающая способность 62
 Рекомбинация 97
 Режим транзистора активный 208, 209
 — — насыщения 208
 — — отсечки 208

Селеновые выпрямители, столбы, блоки 118, 119, 120, 125, 129...149
 —элементы 115, 116, 117, 118, 119
 Семейство анодных характеристик 15
 Сигнальная лампа накаливания 91, 92

Сигнальная лампа цветная тлеющего разряда 89, 90
 Сопротивление базы транзистора 218
 — входное транзистора 216, 217
 — дифференциальное полупроводникового диода 106, 164
 — — варикапа 207
 — — стабилитрона 193
 — лампы внутреннее 12, 23
 — — входное 14, 15
 — — постоянному току 12
 — потерь туннельного диода 169
 — шумов эквивалентное лампы 13
 Сплавной диод 19
 — транзистор 213
 Стабилитрон ионный электровакуумный 67, 68, 69, 73, 74, 75
 — стабилитроны полупроводниковые 111, 113, 180, 191...203, 204
 Статический коэффициент передачи транзистора 217
 — — усиления лампы 11, 12, 13
 Тетрод лучевой 8, 16, 18, 23, 26, 27, 28
 Тиратрон тлеющего разряда 67, 70, 71, 72, 73
 Тиристоры 306...355
 Ток диффузионный 100
 — дрейфовый 97, 99
 — средний выпрямленный 106
 — стабилизации стабилитрона 192
 — темновой 362, 376, 379, 381
 Транзистор биполярный 208...275, 276...291
 — двухэмиттерный 261, 263, 264, 265, 292
 — дрейфовый, бездрейфовый 210
 — конверсионный 214
 — лавинный 224, 225, 261, 262
 — однопереходный 224, 261, 263, 265, 292
 — планарный 214
 — полевой 275, 292, 293...305
 — сплавной 213
 — чехословацкого производства 267...271
 Триод ламповый 8, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24...25, 26, 27, 38, 39
 Трубка осциллографическая 48, 50, 51, 55, 56, 58...59, 60...61, 62
 — телевизионная приемная (кинескоп) 48, 49, 50, 51, 54, 55, 62, 63, 64, 65
 — — передающая 48, 49, 52, 53, 55
 Туннельный диод 109, 164, 170
 — эффект 170
 Формулы перехода параметров транзистора 220, 221

Фотоэффект внешний 356
 — внутренний 356, 378
 — вентильный 379, 380
 Фотоэффекта граничная частота 378
 — красная граница 357
 — пороговая длина волны 356
 Фотодиод 362, 367, 375...377, 379...382
 — координатный 361
 — лавинный 361
 Фоторезистор 360, 362, 375...379, 380
 Фототранзистор 360, 362, 375...377, 382, 383, 384
 Фототиристор 361, 362, 383, 384, 385
 Фотоэлемент 358, 361, 364...365
 Фотоэлектронные умножители 358, 361, 366...375
 — приборы электровакуумные 358, 362...375
 — — полупроводниковые 358, 375...393
 Цвет свечения люминофора 56, 57
 — сигнальной лампы тлеющего разряда 89, 90
 Эквивалентное сопротивление шумов лампы 13, 14
 Электронная лампа 7...48
 — — генераторная, модуляторная, регулирующая 42...47
 — — комбинированная 8, 31, 32, 33, 34
 — — многоэлектродная 8, 22...41
 — — переменной крутизны 8
 — — с вторичной эмиссией 9, 19
 — — с катодной сеткой 8, 36
 — — электрометрическая 17, 38, 40...41
 Электронный полупроводник 98
 Электроннолучевая трубка 48...65
 Электропроводность дырочная 97, 102
 — примесная 97
 — собственная 102
 — электронная 96, 102
 Электрометрическая лампа 17, 38, 40...41
 Электронносветовой индикатор 8, 19, 31, 35
 Эмиссия фотоэлектронная 356
 Эпитаксиальный транзистор 214
 Эффект дробовый 13
 — туннельный 170
 — фотоэлектрический 356

УКАЗАТЕЛЬ¹ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ, ИМЕЮЩИХСЯ В СПРАВОЧНИКЕ

Типы электронных приборов	Стр.
Электронные лампы	
<i>Диоды</i>	
6Х2П, 4Д17П, 6Д14П, 6Д20П, 1Ц21П, 3Ц18П, 3Ц22С, 6Д22С . . .	22
<i>Триоды</i>	
6С15П, 6С19П, 6С20С, 6С31Б, 6С32Б, 6С33С, 6С34А, 6С35А, 6С37Б, 6С40П, 6С41С, 6С56П, 6С58П, 6С59П . . .	24
6Н1П, 6Н2П, 6Н3П, 6Н4П, 6Н5П, 6Н6П, 6Н15П, 6Н19П, 6Н21Б, 6Н23П, 6Н24П, 6Н25Г, 6Н26П . . .	25
<i>Тетроды</i>	
6П1П, 6Ж3П, 6Ж5П, 6Э5П, 6Э7П, 6П13С, 6П21С, 6П23П, 6П27С, 6П36С, 6П41С, 6П42С . . .	28
<i>Пентоды</i>	
6Ж1П, 6Ж2П, 6Ж4П, 6Ж10П, 6Ж23П, 6Ж27П, 6Ж32П, 6Ж33А, 1Ж36Б, 1Ж37Б, 6Ж38П, 6Ж40П, 1Ж42А, 6Ж50П, 6Ж51П . . .	29
6К1Б, 1К2П, 6К4П, 6К6А, 6К8П, 1К12Б, 6К13П, 6П14П, 6П18П, 6П25Б, 6П30Б, 1П32Б, 6П33П, 6П38П, 6П39С, 6П39С, 6П43П, 6П45С .	30
<i>Комбинированные лампы</i>	
6Ф1П, 6И1П, 1И2П, 6Б2П, 6Р2П, 6И3П, 6Ф4П, 6Ф5П, 9Ф8П . . .	34
<i>Электронносветовые индикаторы</i>	
6Е1П, 6Е3П, 1Е4А-В . . .	35
<i>Лампы для широкополосного усиления</i>	
6С3П, 6С4П, 6Э6П, 6Ж9П, 6Ж11П, 6Ф12П, 6П15П, 6Ж52П, 6Ж53П, 6Ж20П, 6Ж21П, 6Ж22П, 6Ж44П . . .	36
<i>Надежные и долговечные лампы</i>	
6К4П-В, 6Э6П-Е, 6К11Б-К, 6Э12Н-В, 6К14Б-В, 6Н28Б-В, 6Ж31Б-К, 6П35Г-В, 6П37Н-В, 6Ж39Г-В, 13Ж41С, 6Ж43П-Е, 6Ж45Б-В, 6С46Г-В, 13Ж47С, 6Ж49П-Д, 6С51Н-В, 6С52Н-В, 6С53Н-В . . .	37
<i>Нувисторы</i>	
6Э12Н, 6П37Н, 6С51Н, 6С52Н, 6С53Н, 6С62Н . . .	37
<i>Электрометрические лампы</i>	
1Э1П, 2Э2П, ЭМ-4, ЭМ-5, ЭМ-6, ЭМ-7, ЭМ-8, ЭМ-10, ЭМ-11, ЭМ-12 .	40
<i>Генераторные, модуляторные и регулирующие лампы</i>	
ГП-5, ГП-9, ГУ-42, ГУ-50, ГС-11, СМ-70, ГМИ-7 . . .	46
Электроннолучевые трубки	
<i>Осциллографические трубки</i>	
ЗЛ01И, 6Л01И, 8Л04И, 10Л02И, 10Л0101М, 13Л010Д, 13Л011А(У), 16Л02А (В,И), 16Л03И, 22Л01А (В,И), 31Л03ЗВ . . .	58

¹ Составил О. М. Пляц.

<i>Кинескопы</i>	
11ЛК1Б, 16ЛК1Б, 23ЛК7Б, 23ЛК8Б, 40ЛК3Б, 61ЛК1Б, 67ЛК2Б, 40ЛК4Ц, 59ЛКЦ	63
<i>Ионные приборы</i>	
<i>Тиратроны</i>	
ТХ6Г, ТХ7Г, ТХ8Г, ТХ9Г, ТХ11Г, ТХ12Г, ТХ13Г, ТХ16Б, ТХ17А, ТХ18А	71
<i>Стабилитроны</i>	
СГ1П, СГ2П, СГ3П, СГ5Б, СГ13П, СГ15П-2, СГ16П, СГ17С, СГ18С, СГ19С, СГ20Г, СГ201С, СГ202Б, СГ203К, СГ204К, СГ205Б, СГ303С-1, СГ304С, СГ301С-1, СГ302С-1, СГ305К, СГ306К, СГ307К, СГ308К, СГ309К, СГ311С, СГ312А, СГ312С	74
<i>Знаковые и линейные индикаторы</i>	
ИН1, ИН2, ИН4, ИН8, ИН8-2, ИН12А, ИН9, ИН13, ИН5А, ИН5Б ИН7, ИН7А, ИН18, ИН19А, ИН19Б, ИН19В, ИН20, ИН21, ИН12Б, ИНЗ, ИНЗА, ИН14, ИН6, ИН7Б, ИН15А, ИН15Б, ИН16, ИН17, ИН24, ИНС1, 95СГ9	79
ИН26	80
<i>Люминесцентные индикаторы</i>	
ИБ1, ИБ2, ИБ3, ИБ4	82
<i>Декароны</i>	
ОГ4, ОГ7, ОГ8, ОГ9, А101, А102, А103, А106, А107, А108, А201 . . .	85
<i>Сигнальные индикаторы</i>	
СН-1, СН-2, МН-3, МН-4, МН-5, МН-6, МН-7, МН-8, МН-11, ПН-1, ФН-2, ВМН-1, УВН-1, ПН-3, ТН1-1,5, ТН1-1,5Д, ТН-30-2М, ТН1-0,8, ТН-0,25, ТН-0,95, ТН-0,15, ТН-0,31, МН-15, ВН-1, ВН-2, ТНУ-2, ИФ-1	88
<i>Цветные индикаторы</i>	
ТЛО-3-1, ТЛО-1-1, ТЛО-1-2, ТЛО-3-2 ТЛЗ-3-1, ТЛЗ-1-1, ТЛЗ-1-2, ТЛЗ-3-2, ТЛЖ-3-1, ТЛЖ-1-1, ТЛЖ-1-2, ТЛЖ-3-2, ТЛГ-3-1, ТЛГ-1-1, ТЛГ-3-2	90
<i>Миниатюрные лампы накаливания</i>	
МН1-0,068, МН1,25-0,25, МН2,3-1,25, МН2,5-0,068, МН2,5-0,15, МН2,5-0,29, МН2,5-0,4, МН2,5-0,54, МН2,5-0,72, МН3,0-0,14, МН3,5-0,14 МН3,5-0,26, МН6,3-0,3, МН6,5-0,34, МН13,5-0,16, МН18-0,10, МН26-0,12-1, МН26-0,12, МН36-0,12	91
<i>Полупроводниковые диоды</i>	
<i>Диоды малой мощности</i>	
МД217, МД218, Д226, ГД107, КД102, КД103, 2Д103, КД104, КД105, 2Д106, 2Д108, КД109, АД110	122
<i>Диоды средней мощности</i>	
Д229, Д242, Д243, Д244, Д245, Д246, Д247, Д248, 2Д201, КД202, КД203, КД204, КД205, КД206, КД209, 2Д210А, 2Д210Б	124
2Д210В, 2Д210Г, 2Д212, 2Д213	125
<i>Выпрямительные столбы и диодные сборки</i>	
Д1004, Д1005, Д1006, Д1007, Д1008, Д1009, Д1010, Д1011, 2Ц101, 2Ц102, 2Ц103, КЦ105, КЦ106, КЦ201, 2Ц202, КДС111	127

Выпрямительные блоки средней мощности	
КЦ401, КЦ402, КЦ403, КЦ404, КЦ405, КЦ407	128

*Малогабаритные селеновые выпрямительные столбы
и блоки сплошной сборки*

5ГЕ140АФ-С, 5ГЕ200АФ-С, 7ГЕ350АФ-С, 5ГЕ600АФ-М1; ВС-5кВ, 3ГЕ220АФ; 15ГЕ1440У-С, 9ГЕ560У-С; БП-7,5/20-0,22, ОСТ-9	129
БП-1,5/6,0-0,05, БП-8,5/25-0,0012, БП-3/50-0,1, 3ГЕ...АФ, 5ГЕ...АФ, 7ГЕ...АФ, 9ГЕ...АФ, 5ГЕ40АФ	130

Селеновые столбы серии «Ф»

5ГЕ2Ф...5ГЕ200Ф, 7ГЕ2Ф...7ГЕ40Ф, 7ГЕ60АФ, 3ГЕ2АФ...3ГЕ200АФ	131

Селеновые выпрямители для печатного монтажа

5ГС2А-ПМ...5ГС6А-ПМ, 5ГС8Ф-ПМ...5ГС24Ф-ПМ	131
5ГМ4А-ПМ, 5ГМ8Ф-ПМ...5ГМ32Ф-ПМ, 7ГМ4А-ПМ, 7ГМ8У-ПМ... 7ГМ32У-ПМ, 7ГС2А-ПМ...7ГС6А-ПМ, 7ГС8У-ПМ...7ГС24У-ПМ, 9ГМ4У- ПМ...9ГМ32У-ПМ, 9ГС2У-ПМ...9ГС24У-ПМ	132

Теплостойкие селеновые выпрямители серии «Е»

40ГД2Е...40ГД20Е, 40ГМ4Е...40ГМ20Е	132

Селеновые выпрямители серии «Я» класса «В»

22ВД2Я...22ВД32Я, 22ВС2Я, 22ВМ4Я...22ВМ32Я, 30ВД2Я...30ВД32Я, 30ВС2Я, 30ВМ4Я...30ВМ32Я, 30ВЕ2Я...30ВЕ32Я, 40ВД2Я...40ВД32Я, 40ВС2Я, 40ВМ4Я...40ВМ32Я, 40ВЕ2Я...40ВЕ32Я, 75ВД2Я...75ВД24Я, 75ВМ4Я...75ВМ24Я, 100ВД2Я...100ВД24Я, 10ВМ4Я...100ВМ24Я, 120ВД2Я... 120ВД24Я, 120ВМ4Я...120ВМ24Я	133
75ВМ8Я2...75ВМ24Я2, 75ВТ6Я...75ВТ24Я, 100ВТ6Я...100ВТ24Я, 120ВМ8Я2...120ВМ24Я2, 120ВТ6Я...120ВТ24Я, 130ВД2Я...130ВД24Я, 130ВД10Я5, 130ВД20Я5, 130ВМ4Я...130ВМ24Я, 130ВМЯ2...130ВМ24Я2, 130ВМ12Я3, 130ВМ24Я3, 130ВМ20Я5, 130ВМ24Я6, 130ВТ6Я... 130ВТ24Я, 130ВТ18Я3, 140ВД2Я...140ВД24Я, 140ВД10Я5, 140ВД20Я5, 140ВМ5Я...140ВМ24Я, 140ВМ8Я2...140ВМ24Я2, 140ВМ12Я3, 140ВМ24Я3, 140ВМ20Я5, 140ВМ24Я6, 140ВТ6Я...140ВТ24Я, 140ВТ18Я3	134

Селеновые выпрямители серии «Я» класса «Г»

130ГД2Я...130ГД24Я, 130ГД10Я5, 130ГД20Я5, 130ГМ4Я...130ГМ24Я, 130ГМ8Я2...130ГМ24Я2, 130ГМ12Я3, 130ГМ24Я3, 130ГМ20Я5, 130ГМ24Я6, 130ГТ6Я...130ГТ24Я, 130ГТ18Я3, 140ГД2Я...140ГД24Я, 140ГД10Я5, 140ГД20Я5, 140ГМ4Я...140ГМ24Я, 140ГМ8Я2...140ГМ24Я2, 140ГМ12Я3, 140ГМ24Я3, 140ГМ20Я5, 140ГМ24Я6, 140ГТ6Я...140ГТ24Я, 140ГТ18Я3, 22ГД2Я...22ГД32Я, 22ГС2Я, 30ГД32Я, 30ГС2Я	135
22ГМ4Я...22ГМ32Я, 22ГЕ16Я-К, 22ГЕ70Я-Н, 30ГМ4Я...30ГМ32Я, 30ГЕ2Я...30ГЕ32Я, 30ГЕ13Я-К, 30ГЕ20Я-К, 30ГЕ26Я-Н, 30ГЕ28Я-К, 30ГЕ70Я-Н, 30ГЖ6Я, 75ГД2Я...75ГД24Я, 75ГД10Я5, 75ГД20Я5, 75ГМ4Я... 75ГМ24Я, 75ГМ8Я2...75ГМ24Я2, 75ГМ24Я3, 120ГД2Я...120ГД24Я, 120ГД10Я5, 120ГД20Я5, 120ГМ4Я...120ГМ24Я, 120ГМ8Я2...120ГМ24Я2	136
75ГМ16Я4, 75ГМ20Я5, 75ГМ24Я6, 75ГТ6Я...75ГТ24Я, 120ГМ20Я5, 120ГМ24Я6, 120ГТ6Я...120ГТ24Я, 40ГД2Я...40ГД24Я, 40ГМ4Я...40ГМ24Я, 40ГТ6Я... 40ГТ24Я, 100ГД2Я...100ГД24Я, 100ГМ4Я...100ГМ24Я, 100ГТ6Я...100ГТ24Я	137

Селеновые выпрямители серии «Я» класса «Д»

22ДД2Я...22ДД32Я, 22ДС2Я, 30ДД2Я...30ДД32Я, 30ДС2Я, 40ДД2Я... 40ДД32Я, 40ДС2Я	137
22ДМ4Я...22ДМ32Я, 30ДМ4Я...30ДМ32Я, 30ДЕ2Я...30ДЕ32Я, 40ДМ4Я... 40ДМ32Я, 40ДЕ2Я...40ДЕ32Я, 75ДД2Я...75ДД24Я, 75ДД10Я5, 75ДД20Я5, 75ДМ4Я...75ДМ24Я, 75ДМ8Я2...75ДМ24Я2, 75ДМ12Я3, 75ДМ24Я3, 75ДМ20Я5, 75ДМ24Я6, 75ДТ6Я, 75ДТ12Я, 130ДД2Я...130ДД24Я, ...	

130ДД10Я5, 130ДД20Я5, 130ДМ4Я...130ДМ24Я, 130ДМ8Я2...130ДМ24Я2,
130ДМ12Я3, 130ДМ24Я3, 130ДМ20Я5, 130ДМ24Я6, 130ДТ6Я, 130ДТ12Я,
140ДД2Я...140ДД24Я, 140ДД10Я5, 140ДД20Я5, 140ДМ4Я...140ДМ24Я,
140ДМ8Я2...140ДМ24Я2, 140ДМ12Я3, 140ДМ24Я3, 140ДМ24Я6, 140ДТ6Я,
140ДТ12Я 138
75ДТ18Я, 75ДТ24Я, 130ДТ18Я, 130ДТ24Я, 130ДТ18Я3, 140ДТ18Я,
140ДТ24Я, 140ДТ18Я3, 100ДД2Я...100ДД24Я, 100ДД10Я5, 100ДД20Я5,
100ДМ4Я...100ДМ24Я, 100ДМ20Я5, 100ДТ6Я...100ДТ24Я, 120ДД2Я,
120Д24Я, 120ДД10Я5, 120ДД20Я5, 120ДМ4Я...120ДМ24Я, 120ДМ20Я5,
120ДТ6Я...120ДТ24Я 139

Селеновые выпрямители серии «Г» класса «Д»

18ДД2Г...18ДД10Г, 25ДД2Г...25ДД10Г, 40ДД2Г...40ДД10Г 139
18ДД12Г...18ДД32Г, 18ДС2Г, 18ДМ4Г...18ДМ32Г, 25ДД12Г...25ДД32Г,
25ДС2Г, 25ДС2Г...25ДМ4Г...25ДМ32Г, 40ДД12Г...40ДД32Г, 40ДС2Г,
40ДМ4Г...40ДМ32Г, 75ДД2Г...75ДД24Г, 75ДС2Г, 75ДД2Г...75ДД24Г, 75ДС2Г,
75ДМ4Г...75ДМ24Г, 100ДД2Г...100ДД24Г, 100ДС2Г, 100ДМ4Г...100ДМ24Г 140
75ДТ6Г...75ДТ24Г, 100ДМ8Г2...100ДМ24Г2, 100ДМ12Г3, 100ДМ24Г3,
100ДМ16Г4, 100ДМ20Г5, 100ДМ24Г6, 100ДТ6Г...100ДТ24Г 141

Селеновые выпрямители серии «Г» класса «Е»

18ЕД2Г...18ЕД32Г, 18ЕС2Г, 18ЕМ4Г...18ЕМ32Г, 25ЕД2Г...25ЕД32Г,
25ЕС2Г, 25ЕМ4Г...25ЕМ32Г, 40ЕД2Г...40ЕД32Г, 40ЕС2Г, 40ЕМ4Г...40ЕМ32Г,
75ЕД2Г...75ЕД6Г, 100ЕД2Г...100ЕД6Г 141
75ЕД8Г...75ЕД24Г, 75ЕС2Г, 75ЕМ4Г...75ЕМ24Г, 75ЕТ6Г...75ЕТ24Г,
100ЕД8Г...100ЕД24Г, 100ЕС2Г, 100ЕМ4Г...100ЕМ24Г, 100ЕМ8Г2...100ЕМ24Г2
100ЕМ12Г3, 100ЕМ24Г3, 100ЕМ16Г4, 100ЕМ20Г5, 100ЕМ24Г6, 100ЕТ6Г...
100ЕТ24Г 142

Селеновые выпрямители серии «Г» класса «И»

18ИД2Г...18ИД32Г, 25ИД2Г...25ИД32Г, 40ИД2Г...40ИД32Г 142
18ИС2Г, 18ИМ4Г...18ИМ32Г, 25ИС2Г, 25ИМ4Г...25ИМ32Г, 40ИС2Г,
40ИМ4Г...40ИМ32Г, 75ИД2Г...75ИД24Г, 75ИС2Г, 75ИМ4Г...75ИМ24Г,
75ИТ6Г...75ИТ24Г, 100ИД2Г...100ИД24Г, 100ИС2Г, 100ИМ4Г...100ИМ24Г,
100ИМ8Г2...100ИМ24Г2, 100ИМ24Г3, 100ИМ12Г3, 100ИМ16Г4, 100ИМ20Г5,,
100ИМ24Г6, 100ИТ6Г...100ИТ24Г 143

Селеновые выпрямители серии «Г» класса «К»

18КД2Г...18КД32Г, 18КС2Г, 18КМ4Г...18КМ32Г, 25КД2Г...25КД32Г,
25КС2Г, 25КМ4Г...25КМ32Г, 40КД2Г...40КД32Г, 40КС2Г, 40КМ4Г...
40КМ32Г, 75КД2Г...75КД24Г, 75КС2Г, 75КМ4Г...75КМ24Г, 100КД2Г...
100КД24Г, 100КС2Г, 100КМ4Г...100КМ24Г, 100КМ8Г2...100КМ24Г2 144
75КТ6Г...75КТ24Г, 100КМ12Г3, 100КМ24Г3, 100КМ16Г4, 100КМ20Г5,
100КМ24Г6, 100КТ6Г...100КТ24Г 145

Селеновые выпрямители серии «У» класса «В»

17ВД2У...17ВД32У, 17ВС2У, 17ВМ4У...17ВМ32У, 22ВД2У...22ВД32У,
22ВС2У, 22ВМ4У...22ВМ32У, 30ВД2У...30ВД32У, 30ВС2У, 30ВМ4У...
30ВМ32У, 48ВД2У...48ВД24У, 48ВС2У, 48ВМ4У...48ВМ24У, 60ВД2У...
60ВД12У, 75ВД2У...75ВД12У, 81ВД2У...81ВД12У, 120ВД2У...120ВД12У 145
60ВД16У...60ВД24У, 60ВС2У, 60ВМ4У, 60ВМ24У, 60ВТ6У...60ВТ24У,
75ВД16У...75ВД24У, 75ВС2У, 75ВМ4У...75ВМ24У, 75ВТ6У...75ВТ24У,
81ВД16У...81ВД24У, 81ВМ4У...81ВМ24У, 81ВТ6У...81ВТ24У, 120ВД16У...
120ВД24У, 120ВМ4У...120ВМ24У, 120ВТ6У...120ВТ24У 146

Селеновые выпрямители серии «У» класса «Г»

17ГД2У...17ГД24У, 17ГС2У, 17ГМ4У...17ГМ24У, 30ГД2У...30ГД24У,
30ГС2У, 30ГМ4У...30ГМ24У, 48ГД2У...48ГД24У, 48ГС2У, 48ГМ4У...48ГМ24У,
60ГД2У...60ГД8У, 81ГД2У...81ГД8У, 81ГД2У...81ГД8У 146
60ГД12У...60ГД24У, 60ГМ4У...60ГМ24У, 60ГТ6У...60ГТ24У, 81ГД2У...
81ГД8У, 81ГД12У...81ГД24У, 81ГТ6У...81ГТ24У, 81ГД12У...81ГД24У,

816ГМ4У...816ГМ24У, 816ГТ12У...816ГТ24У, 22ГД2У...22ГД24У, 22ГМ4У...22ГМ24У, 75ГД2У...75ГД24У, 75ГМ4У...75ГМ24У, 75ГТ6У...75ГТ24У, 120ГД2У...120ГД24У, 120ГМ4У...120ГМ24У, 120ГТ6У...120ГТ24У	147

Селеновые выпрямители серии «У» класса «Д»

75ДД2У...75ДД24У, 75ДМ4У...75ДМ24У, 75ДТ6У...75ДТ24У, 81ДД2У...81ДД24У, 81ДМ4У...81ДМ24У, 81ДТ6У...81ДТ24У, 120ДД2У...120ДД24У, 120ДМ4У...120ДМ24У, 120ДТ6У...120ДТ24У, 48ДД2У...48ДД24У, 48ДС2У, 48ДМ4У...48ДМ24У, 48ДТ6У...48ДТ24У, 60ДД2У...60ДД24У, 60ДС2У, 60ДМ4У...60ДМ24У, 60ДТ6У...60ДТ24У, 816ДД2У...816ДД24У, 816ДМ4У...816ДМ24У, 816ДТ6У...816ДТ24У, 17ДД2У...17ДД8У, 22ДД2У...22ДД8У, 30ДД2У...30ДД8У	148
17ДД10У, 17ДД32У, 17ДС2У, 17ДМ4У...17ДМ32У, 22ДД10У...22ДД32У, 22ДС2У, 30ДД10У...30ДД32У, 30ДС2У, 30ДМ4У...30ДМ32У	149

Силовые вентили

В10, ВЛ10, В12, ВЛ12, В16, ВЛ16, В20, ВЛ20, В25, ВЛ25, В40, ВЛ40, В50, ВЛ50, В63, ВЛ63, В80, ВЛ80, В100, ВЛ100, В125, ВЛ125, В160, ВЛ160, В200, ВЛ200, В250, ВЛ250, В320, ВЛ320, ВВ320, ВЛВ320, В400, ВЛ400, ВВ400, ВЛВ400, В500, ВЛ500, ВВ500, ВЛВ500, В630, ВЛ630	157
ВВ630, ВЛВ630, В800, ВЛ800, ВВ800, ВЛВ800, В1000, ВЛ1000, ВВ1000, ВЛВ1000, ВВ1250, ВВ1600	158

✓

Высокочастотные вентили

ВКЧ-50, ВЧ-100, ВЧ-160, ВЧ-200	160

Автотракторные вентили и ограничители напряжения

ВА-6,3, ВА10, ВА16, ВА-20, КСОН5, КСОН2-5, КСОН10, КСОН2-10	161

Диоды и диодные сборки универсального назначения

Д1, Д2, Д9, Д11...Д14, Д104...Д107	165
Д108, Д109, Д223, ГД402, ГД403, ГД404, КД407, ДД409, 2ДС408	166

Импульсные диоды и сборки

Д18, Д20, Д310, Д311, Д312, ГД507, ГД508, ГД511	166
Д219, Д220, КД103, 2ДМ502, КД503, КД509, КД510, КД512, КД513, КД514, КД518, КД520, КД521, КД522, 2Д524, АД516	167
КД901, КД903, КД904, КД906, КД907, КД908, КД909, КД910, КД911, КД912, КД913, КД914	168
КД917, КД918, КД919, КД920, КДС523, КДС525, КДС526	169

Туннельные диоды

АИ101, ИИ102, ГИ103, ИИ104	174
АИ201, ЗИ202, АИ301, ГИ304, ГИ305	175
ЗИ306, ГИ307, ИИ308	176

Туннельные обращенные диоды

ГИ401, АИ402, ЗИ402, ГИ403, ИИ403	177

Переключательные диоды СВЧ

ГА501, 1А501, 2А503, ГА504	181
1А504, 2А505, 2А506, КА507, 2А507, КА508, 2А508, КА509, 2А509, КА510А, КА510Б, КА510В	182
КА510Г, КА510Д, КА510Е, 2А510, 2А511, 2А512, КА513, 2А513, 2А515, 2А516, КА517, 2А518, 2А519, КА520, 2А520, 2А521	183

Детекторные диоды СВЧ

ДК-В1...ДК-В4, ДК-В5М, ДК-В7М; ДКИ-1М, ДКИ-2М, ДК-В8, ДК-В11, Д601, Д602, Д603...Д609, 2А201, 2А202, 2А203	184

Параметрические диоды СВЧ

ГА401, 1А401, ГА402, 1А402, ГА403, 1А403	185
1А403, 1А404, 1А405, 1А408	186

Смесительные диоды СВЧ

Д402...Д409, ДКС1М, ДКС2М, ДКС7М, ДГС1, ДГС2, 1А106	187
2А101, 2А102...2А109, АА111, 3А111, АА112, АА113	188

Умножительные диоды СВЧ

Д501, 2А601, КА602, 2А602, АА603, 3А603, 2А604, 2А605, КА606	189
3А607, 2А608, 2А609	190

Генераторные и модуляторные диоды СВЧ

1А701, АА703, 3А703, 1А704, АА705, 3А705, Д401	190

Стабилитроны и стабилоры малой мощности

Д808...Д811, Д813, Д818, КС133, 2С133, 2СМ133, КС139, 2С139, 2СМ139, КС147, 2С147, 2СМ147, КС156, 2С156	196
2СМ156, КС162, 2С162, КС168, 2СМ168, КС168, 2С168, КС170, 2С170, КС175, 2С175, 2СМ180, КС182, 2С182, 2СМ190, КС191, 2С191	197
КС191, 2С191, КС196, 2С196, 2СМ210, КС210, 2С210, 2СМ211, КС211, 2С211	198
2С212, 2СМ213, КС213, 2С213, 2С215, 2С224, 2С291, 2С107, 2С113, 2С119, 2С120, Д220С, Д223С, 7ГЕ1А-С, 7ГЕ2А-С, 7ГЕ3А-С	199

Стабилитроны средней и большой мощности

Д814, Д816, Д817, КС433, 2С433, КС439, 2С439, КС447, 2С447	200
КС456, 2С456, КС468, 2С468, КС482, 2С482, КС510, 2С510, КС512, 2С512, КС515, 2С515, КС518, 2С518, КС520, КС522, 2С522, 2С524, КС527, 2С527, 2С530, КС531	201
КС533, 2С536, КС547, 2С551, КС568, 2С591, КС596, 2С600, КС620, 2С920, КС630, 2С930, КС650, 2С950, КС680, 2С980	202
Д815, КС50, КС15	203, 204

Варикапы и варикапные сборки

КВ101, Д902, КВ102, 2В102, КВ103, 2В103, КВ104, 2В104, КВ105, 2В105, КВ106, 2В106, КВ107	205
КВ109, КВ110, 2В110, КВС111	206

Транзисторы

Транзисторы германиевые малой мощности низкой и средней частоты

МП20, МП21, МП25, МП26, МП39, МП40	226
МП41, МП42, ТМ5, 1Т101, 1Т102, 1ТМ115, ГТ115, 1Т116	227
1Т116, ГТ108, МГТ108, ГТ109, ТМ2, МП35, МП37	228
МП37А, МП37Б, МП38, ТМ3	229

Транзисторы кремниевые малой мощности низкой и средней частоты

МП104, МП105, МП106, КТ104, 2ТМ104, КТ120, КТ202	230
2Т202, КТ203, 2Т203, МП101, МП102, МП103, 2ТМ103, КТ201	231
КТ201Г, КТ201Д, 2Т201, 2Т205, ТМ10, П307, П308, П309	232

*Транзисторы германиевые малой мощности
высокой частоты*

П416, ГТ305, 1ТМ305, ГТ308, 1Т308, ГТ309	233
ГТ309Г, ГТ309Д, ГТ309Е, ГТ310, ГТ311, 1Т311, ГТ313, 1Т313	234
ГТ320, 1Т320, ГТ321, 1Т321, ГТ322, ГТ323	235
ГТ323В, 1Т323, ГТ328, ГТ329, 1Т329, ГТ330, 1Т330	236
1Т335, ГТ341, 1Т341, ГТ346, ГТ362, 1Т362	237
М4, ТМ4	238

Транзисторы кремниевые малой мощности высокой частоты

КТ301, 2Т301, КТ306, 2Т306	239
КТ307, 2Т307, КТ312, 2Т312, КТ315, КТ316, 2Т316	240
2Т316Г, 2Т316Д, КТ317, 2Т317, КТ318, 2Т318, КТ324, 2Т324	241
2Т324, КТ325, 2Т325, КТ326, 2Т326, КТ331, 2Т331	242
КТ332, 2Т332, КТ333, 2Т333, КТ336	243
2Т336, КТ337, КТ339, КТ340, КТ342, КТ343	244
КТ343, КТ345, КТ347, КТ348, 2Т348, КТ349, КТ350, КТ351	245
КТ352, 2Т354, КТ355, 2Т355, 2Т356, КТ357, КТ358, КТ359	246
КТ360, 2Т360, КТ361, КТ363, 2Т363, КТ364, 2Т364, 2Т366	247
2Т366В, 2Т367, КТ369, КТ370, 2Т371, КТ373	248

Транзисторы средней мощности

ГТ402, ГТ403, 1Т403	249
1Т403, ГТ404, ГТ405, П607, П608, П609	250
ГТ612, ГТ614, КТ601, КТ602, 2Т602, КТ603, 2Т603	251
КТ604, КТ605, КТ606, 2Т606, 2Т607, КТ608, 2Т608, КТ610, 2Т610, КТ611, КТ616, КТ617, КТ618	252

Транзисторы большой мощности низкой и средней частоты

П4, П201, П202, П203, П210, П213	253
П214, П215, П216, П217, ГТ701, 1Т702, ГТ703	254
2Т704, П601	255
П602, П605, П606, П701, П702, КТ801, КТ802, КТ803, 2Т803, КТ805	256
ГТ806, 1Т806, КТ807, КТ808, 2Т808, 2Т809, 1Т810	257

Транзисторы большой мощности высокой частоты

1Т901, КТ902, КТ903, 2Т903, КТ904, 2Т904, ГТ905	258
1Т905, 1Т906, КТ907, 2Т907, КТ908, 2Т908, КТ909, 2Т909, 1Т910, КТ911	259
2Т911, 2Т912, 2Т917	260

Транзисторы лавинные

ГТ338	260
П12, П406, П407, МП21, МП42, МП103, МП113, П414, П416, П420, П422, ГТ320, ГТ313, ГТ311Ж, КТ312, КТ315, КТ603, МТ4	262

Транзисторы однопереходные и двухэмиттерные

КТ117, 2Т117, КТ119	265
КТ118, 2Т118	266

Транзисторные матрицы

ГТС609	266
ГТС609Б, ГТС609В, 1ТС609, 2ТС613, 2ТС622	267

Транзисторы чехословацкого производства

GCN55, GCN56, GC500	267
GC501...GC527, GFY50, GF505...GF517	268
KC147...KC149, KC507...KC601, KSY21...KSY81, KF124, KF125, KF173, KF503, KF504, KF524, KFY34, KFY46, KFY12, KU601...KU611	269
KU612, OC26...OC170, 2NU72...5NU72, 2NU73...7NU73, 2NU74...6NU74	270
101NU70...155NU70	271

Транзисторные элементы

T-101...T107	271
T-101...T107	272
T201...T-203	273
T-301...T-304	274
T-401...T-405	275

Транзисторы полевые

КП101, 2П101, КП102, КП103	301
2П103, КП201, 2П201, КП301, 2П301, КП302	302
2П302, КП303, 2П303	303
КП304, 2П304, КП305, 2П305	304
КП306, КП350, 2П350	305

Тиристоры

Тиристоры диодные

КН102, 2Н102	324

Тиристоры триодные малой мощности

КУ101, 2У101, КУ103, 2У103, 2У104, 2У105	328
2У105, 2У107	329

Тиристоры триодные средней мощности

Д235, Д238, КУ201, 2У201	330
2У201, КУ202, 2У202, 2У203	331
2У203, 2У205, 2У207, КУ210, 2У211	332, 333

Тиристоры силовые

T10, T12, T16, T20, T25, T40, T50, T63, T80, T100, ТЛ100, T125, T160, ТЛ160, T200, ТЛ200, ТВ200, ТЛВ200, T250, ТЛ250, T320, ТВ320, ТЛВ320, ТВ400, ТВ500, T630, ТВ630, T800, ТВ800, T1000, ТВ1000, T250, T320, T400, T500	335
T2-200, T2-250, T2-320, T2-500, T2-750, T2-1000, T3-160, T3-320, T6-200, T6-250, ТВ7-320, T9-100, T9160, T9-200, T9-250	340

Тиристоры триодные запираемые

2У102	344
КУ204, 2У204	345

Тиристоры высокочастотные

ТЧ-10, ТЧ-16, ТЧ-25, ТЧ-40, ТЧ-50, ТЧ-63, ТЧ-80	348

Тиристоры импульсные

2У108	348
ТИ-800, ТИ-1600, ТИ-3000	349

Тиристоры быстродействующие

ТБ-160, ТБ-200, ТБ-250, ТБ-320	349, 350

Тиристоры роторные

T2-160, T-400, T3-500	350

Тиристоры высокочастотные лавинные

ТЧЛ-10, ТЧЛ-16, ТЧЛ-25, ТЧЛ-40, ТЧЛ-50, ТЧЛ-63, ТЧЛ-80, ТЧЛ-100, ТЧЛ-125, ТЧЛ-160, ТЧЛ-200, ТЧЛ-250, ТЧЛ-320	351
ТД-20, ТД-25, ТД-40, ТД-63, ТД-80, ТД-100, ТД-125, ТД-160, ТД-200, ТД-250	351, 352

Тиристоры симметричные

КУ208, 2У208	353
ТС-10, ТС-50, ТС-75, ТС-100, ТС-150, ТСВ-150, ТСВ-100, ТСВ-200, ТС80, ТС125, ТС160	354

Тиристоры гибридные пороговые

2У106	355

Фотоэлектрические приборы

Фотоэлементы

Ф-1, Ф-2, Ф-4, Ф-5, Ф-6, Ф-7, Ф-9, Ф-10, Ф-13, Ф-16, Ф-18, Ф-21, Ф-22, Ф-23	365

Фотоэлектронные умножители

ФЭУ-17, ФЭУ-18, ФЭУ-20, ФЭУ-22, ФЭУ-26, ФЭУ-28, ФЭУ-30, ФЭУ-31, ФЭУ-49, ФЭУ-50, ФЭУ-55, ФЭУ-60, ФЭУ-62, ФЭУ-63, ФЭУ-64, ФЭУ-65, ФЭУ-67, ФЭУ-68, ФЭУ-69, ФЭУ-71, ФЭУ-77, ФЭУ-78, ФЭУ-79, ФЭУ-81, ФЭУ-82, ФЭУ-83, ФЭУ-84	370
ФЭУ-85, ФЭУ-86, ФЭУ-87, ФЭУ-91...ФЭУ-97, ФЭУ-101...ФЭУ-114	371

Фоторезисторы

СФ2-1, СФ2-2, СФ2-4, СФ2-5, СФ2-8, СФ2-9, СФ2-12, СФ2-16, СФ3-1, СФ3-2, СФ3-5, СФ3-8	380

Фотодиоды

ФД-1, ФД-2, ФД-3, ФД-4, ФД-5, ФД-6, ФД-7, ФД-9Э111А, ФД-9Э111Б, ФД-9Э111Г, ФД-9К, ФДК-1, КФДМ	382

Фототранзисторы

ФТ-1, ФТ-1К, ФТГ-2, ФТГ-3	384

Фототиристоры

ТФ-5, ТФ-10, ТФ-100	385

Излучающие диоды

КЛ101, 2Л101, АЛ102, 3Л102, АЛ103, 3Л103, КЛ104, АЛ106	387
АЛ107, АЛ108, 3Л108, АЛ301, АЛ109, АЛ301	388

Оптроны

АОР104, АОУ103	392

Серии интегральных микросхем

Цифровые интегральные микросхемы

К104	408
К106	410, 411
К113	412
К114	413
К120	414
К133	415
К147	416
К155	416, 417
К172	417, 418
К201	419, 420
К202	420, 421
К204	422
К205	422, 423
К215	423
К217	424, 425
К243	426, 427

Аналоговые интегральные микросхемы

К101	431
К118	439, 440
К122	441
К123	442
К153	442

K740	442
K140	443
K173	444
K218	444
K224	445, 446
K228	447, 448
K237	449, 450
K242	450

Олег Михайлович Пляц

**Справочник по электровакуумным, полупроводниковым
приборам и интегральным схемам**

Научный редактор *А. П. Ткаченко*. Редакторы *К. И. Тарасов, С. М. Рыбарева*.
Обложка *Н. Н. Грибова*. Худож. редактор *В. Н. Валентович*. Техн. редактор
М. Н. Кислякова. Корректор *Л. И. Синегрибова*

АТ 11346. Сдано в набор 27/IV 1976 г. Подп. к печ. 9/IX 1976 г. Формат 60×90¹/₁₆ типогр.
№ 1, Усл.-печ. л. 30. Уч.-изд. л. 36,82. Тираж 80 000 экз. Зак. № 3207. Цена 2 руб. 08 коп.

Издательство «Высшая школа» Государственного комитета Совета Министров БССР по
делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Редакция литературы для учебных
заведений профессионально-технического образования. 220600, Минск, ул. Кирова, 24.
Полиграфический комбинат им. Я. Коласа Государственного комитета Совета Министров
БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Минск, ул. Красная, 23.