

621.3(05)

Э-45

Ж 2964

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

100000, Вологда, ГСП,
ул. М. И. Ульяновой, дом 1
Республиканская областная
библиотека им. В. И. Ленина



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

1951

1-6

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1
1951
ЯНВАРЬ

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР, МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР
И МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

СОДЕРЖАНИЕ

Сергей Иванович Вавилов	3
<i>В Совете Министров СССР. О строительстве Волго-Донского судоходного канала и орошении земель в Ростовской и Сталинградской областях</i>	7
В. А. Веников и Д. А. Федоров — Учет потерь на корону в линиях электропередачи 400 кв	10
Н. А. Поляк — Тепловые и электромагнитные характеристики турбогенераторов с водородным охлаждением	15
В. Е. Скобелев — Основы теории схем выбега	23
Ю. Е. Ефроймович — Инженерные методы расчета режимов и определения параметров электрометаллургических печей с несимметричным подводом тока	33
Ю. М. Элькинд — Проверка частотомеров с использованием частоты 1000 гц, передаваемой по радио	43
Л. С. Лурье — Кажущаяся мощность трехфазной системы	47
О. М. Богатырев — Метод расчета принужденного тока от периодической э. д. с. любой формы	53
А. П. Беляков — Шкала энергии	57
ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ	
С. С. Рокотян, Б. В. Соколов и А. Н. Шеренцис — Выпускающие зажимы на линиях электропередачи	60
ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	
М. О. Каменецкий — Принцип повышения напряжения	65
СТАНДАРТЫ И НОРМЫ	
Г. Б. Холявский и Л. К. Грейнер, К. Е. Булгаков — Электрические аппараты высокого напряжения	67
Я. М. Довгалецкий — О ГОСТ на постоянные магниты	72
ДИСКУССИИ	73
К проекту стандарта на номинальные напряжения стационарных электрических сетей О. Б. Брон, Х. С. Аракелов, Б. М. Плющ и М. А. Эсбян	
ПО СТРАНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ	77
Электрический аппарат для гармонического анализа и синтеза. Электрические испытания конденсаторной бумаги. Применение холодной сварки давлением для изготовления кабельных оболочек из алюминия. Проект шведской системы электропередачи 380 кв.	
ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА	85
КОНСУЛЬТАЦИИ	86
ХРОНИКА	
Всесоюзное совещание по обсуждению „Правил устройства электротехнических установок“	87
Научно-техническая сессия по релейной защите	88
Московский энергетический институт им. Молотова. Диссертации	89
В Комитете содействия строительству гЭС при Академии наук СССР	92
В НТО Всесоюзного заочного энергетического института	93
БИБЛИОГРАФИЯ	
С. М. Брагин — Книга С. С. Городецкого „Испытание кабелей с пропитанной бумажной изоляцией“	94
Н. А. Шостьин — Книга Н. А. Смолькова „Радиоволны и магнетизм“	95
Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике	96
Номерная программа для определения общего сопротивления параллельно соединенных проводников (на третьей полосе обложки)	

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Доктор техн. наук, проф. **Г. Н. Петров** (редактор), академик **А. И. Берг**, доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич**, доктор техн. наук, проф. **А. А. Глазунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик **В. Ф. Миткевич**, канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**.

Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2, тел. К 4-24-80.
Адрес для телеграмм: Москва Электричество
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый
ящик № 648

Сергей Иванович Вавилов



От Совета Министров СССР и ЦК ВКП(б)

Совет Министров СССР и ЦК ВКП(б) с глубоким прискорбием извещают, что 25 января 1951 года в Москве на 60 году жизни после тяжелой болезни скончался президент Академии наук Союза Советских Социалистических Республик, депутат Верховного Совета СССР, председатель Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний, главный редактор Большой Советской Энциклопедии, дважды лауреат Сталинской премии академик Сергей Иванович Вавилов.

Советский народ в лице академика С. И. Вавилова потерял крупнейшего ученого и выдающегося государственного и общественного деятеля.

Все свои силы и знания академик С. И. Вавилов отдал беззаветному служению Родине, советской науке, великому делу коммунизма.

От Президиума Верховного Совета СССР

Президиум Верховного Совета СССР с прискорбием извещает о смерти крупнейшего ученого и выдающегося государственного и общественного деятеля, депутата Верховного Совета СССР, Президента Академии наук СССР академика Сергея Ивановича Вавилова, последовавшей 25 января 1951 года после тяжелой болезни.



От Академии наук СССР

Академия наук СССР с глубокой скорбью извещает о скоропостижной кончине Президента Академии наук СССР академика

Сергея Ивановича ВАВИЛОВА,

последовавшей 25 января в 4 часа 45 минут в Москве, и выражает соболезнование семье покойного.

Академик Сергей Иванович Вавилов скончался на 60 году жизни в полном расцвете своих творческих сил.

Со смертью С. И. Вавилова советская наука понесла тяжелую утрату, Академия наук СССР потеряла своего многолетнего руководителя, выдающегося ученого, общественного деятеля, талантливого организатора научных сил нашей страны.

Вся жизнь С. И. Вавилова — пример беззаветной любви к нашей Родине, неустанного творческого служения советской науке, советскому народу, великому делу Ленина — Сталина, делу коммунизма.

Президиум Академии наук СССР



ТРАУРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ ПРЕЗИДИУМА АКАДЕМИИ НАУК СССР

25 января состоялось траурное заседание президиума Академии наук СССР, посвященное памяти крупнейшего советского ученого, выдающегося государственного и общественного деятеля, президента Академии наук СССР академика Сергея Ивановича Вавилова.

Заседание открыл вице-президент Академии наук СССР академик И. П. Бардин. Он предложил почтить память Сергея Ивановича Вавилова вставанием.

С прочувствованными речами, посвященными светлой памяти академика С. И. Вавилова, на заседании выступили академики А. В. Топчиев, В. П. Волгин, И. Г. Петровский, А. И. Опарин, К. И. Сатпаев, Б. А. Введенский и другие.



Памяти великого труженика и организатора науки Сергея Ивановича Вавилова

Советская наука понесла тяжелую утрату. В полном расцвете творческих сил скончался крупнейший ученый, выдающийся государственный и общественный деятель, неутомимый борец за передовую советскую науку, пламенный пропагандист великих идей коммунизма — президент Академии наук СССР, депутат Верховного Совета Союза ССР академик Сергей Иванович Вавилов.

С. И. Вавилов родился в Москве в 1891 году. В 1909 году он поступил в Московский университет, где учился и работал под руководством выдающегося русского ученого-физика П. Н. Лебедева. Еще будучи студентом, С. И. Вавилов выполнил оригинальное научное исследование «Тепловое выцветание красителей», удостоенное золотой медали Обществом любителей естествознания при Московском университете. По окончании университета в 1914 году С. И. Вавилову было предложено остаться в университете при кафедре физики, однако он отклонил это предложение и вместе с другими прогрессивными учеными ушел из университета в знак протеста против полицейских преследований передовых ученых.

С 1914 по 1918 год С. И. Вавилов находился на военной службе. За эти годы им выполнен ряд важных научных исследований в области радиофизики.

Выдающиеся дарования Сергея Ивановича, как талантливого ученого и организатора, в полной мере раскрылись после Великой Октябрьской социалистической революции, создавшей исключительно благоприятные условия для развития науки в нашей стране.

С первых дней революции С. И. Вавилов ведет большую педагогическую и научно-исследовательскую работу. Его жизнь и деятельность связана с работой таких крупнейших научных и учебных учреждений, как Московский университет, Московское высшее техническое училище, Институт физики и биофизики, Государственный оптический институт и Физический институт им. П. Н. Лебедева Академии наук СССР.

С. И. Вавилову принадлежит около ста научных работ, главным образом по вопросам физической оптики. Более 15 лет его упорных исследований природы фотолюминесценции растворов увенчались большими научными открытиями

в этой малоразработанной области физики и позволили создать общую теорию явлений люминесценции.

На основании глубоких теоретических исследований С. И. Вавилова и под его непосредственным руководством разработана технология производства ламп так называемого дневного, или холодного света, имеющих значительные экономические и светотехнические преимущества перед лампами накаливания.

По инициативе С. И. Вавилова в химии, медицине, минералогии, в пищевой, металлообрабатывающей и других отраслях промышленности получил широкое внедрение новый метод анализа вещества — люминесцентный анализ.

Особо важное научное и практическое значение имеет выдающееся открытие С. И. Вавилова и его учеников в области изучения свойств электронов при движении их в веществе со сверхсветовой скоростью. За эти выдающиеся труды Сергей Иванович был дважды удостоен Сталинской премии.

Признанием больших заслуг Сергея Ивановича перед советской наукой явилось избрание его в 1931 г. членом-корреспондентом и в 1932 г. — действительным членом Академии наук СССР. Человек большой и разносторонней культуры, Сергей Иванович уделял огромное внимание общим вопросам истории и методологии науки. Многие его работы посвящены вопросам философии естествознания, где он творчески применял великое всепобеждающее учение Ленина — Сталина и показал, что достижения передовой современной науки подтверждают законы диалектического материализма и опровергают идеалистические измышления буржуазных философов и физиков. Горячий патриот Советской Родины, С. И. Вавилов последовательно боролся за приоритет отечественной науки и признание того великого вклада, который внесли ученые нашей Родины в сокровищницу мировой науки и культуры.

В годы Великой Отечественной войны, будучи уполномоченным Государственного Комитета Оборона СССР, С. И. Вавилов отдавал свои силы делу разгрома врага.

В 1945 году Сергей Иванович Вавилов был избран президентом Академии наук СССР. На

посту президента Академии наук он проявил себя талантливым организатором, неутомимым борцом за осуществление великих задач, поставленных партией и Советским правительством перед учеными нашей страны.

Все свои силы Сергей Иванович отдал делу развития передовой советской науки.

Он был непримиримым борцом за все новое и передовое в науке, против косности и рутины, начетничества и талмудизма. Во всей своей деятельности С. И. Вавилов руководствовался мудрыми указаниями товарища Сталина о развитии советской науки, той науки, которая не отгораживается от народа, не держит себя вдали от народа, а готова служить народу, готова передать народу все завоевания науки, которая обслуживает народ не по принуждению, а добровольно, с охотой.

Научные учреждения Академии наук СССР, руководимой Сергеем Ивановичем, достигли значительных успехов в выполнении исторической задачи, поставленной товарищем Сталиным перед советскими учеными, — не только догнать, но и превзойти в ближайшее время достижения науки за пределами нашей страны.

С. И. Вавилов уделял большое внимание планированию советской науки и внедрению научных достижений в народное хозяйство. Воодушевленный решениями партии и правительства о строительстве гигантских гидротехнических сооружений коммунизма, Сергей Иванович возглавлял работу ученых по оказанию помощи великим сталинским стройкам.

Сергей Иванович неуклонно проводил в жизнь указания товарища Сталина о приобщении к науке широчайших народных масс. Выполняя большие государственные и научные обязанности, С. И. Вавилов стоял во главе массового движения советских ученых по распространению политических и научных знаний среди трудящихся. Сергей Иванович сам являлся талантливым популяризатором науки. Его произведения «О теплом и холодном свете», «Глаз и солнце»

и многие другие представляют образцы популяризации современных достижений науки.

В течение многих лет он возглавлял Комиссию Академии наук по изданию научно-популярной литературы, являлся главным редактором научно-популярного журнала «Природа», редактировал большое число изданий для народа.

С. И. Вавилов являлся главным редактором нового издания «Большой Советской Энциклопедии», призванного обобщить все достижения науки и культуры.

Велика и разнообразна научно-организационная деятельность, которую вел академик Вавилов. Он был президентом Академии наук СССР, председателем Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний, председателем Комитета по координации научной деятельности академий наук союзных республик. На этих ответственных постах академик Вавилов с исключительной энергией руководил организацией научной работы и подготовкой научных кадров в центре и на местах.

Широко известна деятельность С. И. Вавилова как пламенного борца за дело мира во всем мире. Беззаветное служение великому делу Ленина — Сталина, жизненным интересам советского народа снискало Сергею Ивановичу глубокое уважение и любовь трудящихся нашей страны. Начиная с 1935 года, С. И. Вавилов был депутатом многих созывов Ленинградского и Московского Советов, депутатом Верховного Совета РСФСР и Верховного Совета СССР.

Советское правительство высоко оценило выдающиеся заслуги академика Вавилова перед Родиной. Сергей Иванович был дважды награжден орденом Ленина, орденом Трудового Красного Знамени и медалями Советского Союза.

Советский народ будет свято чтить светлую память о Сергее Ивановиче Вавиллове, выдающемся ученом и патриоте нашей Родины, отдавшем все свои силы и знания великому делу строительства коммунизма в СССР.

Академия наук СССР



В Совете Министров СССР

О строительстве Волго-Донского судоходного канала и орошении земель в Ростовской и Сталинградской областях

Еще до войны было начато строительство Волго-Донского судоходного канала. Соединением Волги с Доном должны были завершиться огромные работы, проведенные за годы советской власти, по реконструкции и строительству судоходных путей, соединяющих Белое, Балтийское и Каспийское моря с Азовским и Черным морями, и созданию транзитного водного пути для перевозки массовых грузов.

Война прервала начатое строительство.

Придавая большое народнохозяйственное значение созданию Волго-Донского водного пути и учитывая вместе с тем, что это строительство позволяет широко развить орошение и обводнение полупустынных и засушливых районов Ростовской и Сталинградской областей, три года назад Правительство приняло решение вновь развернуть работы по строительству Волго-Донского канала. При этом Правительство учитывало, что проведение Волго-Донского судоходного канала является не частной и не краевой задачей, а задачей общесоюзного значения, имеющей своей целью соединение всех морей европейской части СССР в единую водно-транспортную систему.

В целях ускорения ввода в эксплуатацию Волго-Донского водного пути и развития орошения и обводнения полупустынных и засушливых земель Ростовской и Сталинградской областей, а также учитывая успешный разворот строительных работ и высокую оснащенность Волго-Донского мощными экскаваторами, строительными механизмами и транспортными средствами, позволяющими полностью механизировать земляные и бетонные работы, Совет Министров Союза ССР постановил:

1. Сократить на 2 года установленный ранее срок создания Волго-Донского водного пути и закончить в 1951 году строительство:

а) судоходного Волго-Донского канала, соединяющего р. Волгу с р. Доном в районе от гор. Сталинграда до гор. Калач на Дону, длиной 101 километр с 13 шлюзами, тремя плотинами, насосными станциями, пристанями, мостами и другими сооружениями;

б) гидроузла на Дону в районе станицы Цимлянской с регулирующим водохранилищем полезным объемом 12,6 миллиарда кубических метров в составе — бетонной водосливной плотины длиной 500 метров, земляной плотины длиной 12,8 километра, двух судоходных шлюзов, речного порта и магистральных железнодорожного и шоссейного переходов по плотине;

в) гидроэлектростанции при плотине Цимлянского гидроузла, установленной мощностью 160 тыс. киловатт для снабжения дешевой электроэнергией районов орошаемого земледелия и промышленности.

2. Волго-Донской судоходный канал и Цимлянский гидроузел с гидроэлектростанцией ввести в эксплуатацию с весны 1952 года.

3. Осуществить в 1951—1956 годах строительство оросительных систем для орошения 750 тыс. гектаров и обводнения двух миллионов гектаров земель на базе водных ресурсов реки Дона, в том числе в Ростовской области — 600 тыс. гектаров орошения и 1 миллион гектаров обводнения, в южных районах Сталинградской области — 150 тыс. гектаров орошения и 1 миллион гектаров обводнения. Орошаемые земли использовать в первую очередь для посева пшеницы и хлопчатника.

В указанных целях обеспечить строительство:

а) Донского магистрального канала от Цимлянского водохранилища до станицы Пролетарской длиной 190 километров с головным сооружением для забора воды из Цимлянского водохранилища;



б) распределительных каналов — общей длиной 568 километров, а именно —

Верхне-Сальского канала, с использованием русла реки Сал, от села Малая Мартыновка до устья реки Гашун длиной 125 километров с забором воды из Донского магистрального канала, с плотинами и насосными станциями для подачи воды вверх по реке Сал;

Нижне-Донского канала от поселка Восход в направлении станицы Семикаракорской длиной 73 километра с забором воды из Донского магистрального канала;

Багаевского канала от поселка Комаров в направлении станицы Багаевской длиной 35 километров с забором воды из Донского магистрального канала;

Садковского канала от поселка Болотов до селения Маныч Балабинский длиной 15 километров с забором воды из Донского магистрального канала;

Азовского канала от поселка Веселого до села Кулешовки длиной 90 километров с забором воды из Веселовского водохранилища;

Ергенинского канала от Варваровского водохранилища в направлении села Обильное длиной 140 километров с забором воды из Волго-Донского судоходного канала;

Чирского канала от станицы Нижне-Чирской в направлении села Красно-Богданов длиной 90 километров с забором воды из Цимлянского водохранилища;

в) насосных станций на распределительных каналах в количестве 140 и линий электропередачи к ним;

г) оросительной и обводнительной сети с забором воды из распределительных каналов для орошения 750 тыс. гектаров и обводнения 2 миллионов гектаров земель.

4. Обязать Министерство сельского хозяйства СССР, Министерство хлопководства СССР и Министерство совхозов СССР:

а) обеспечить ввод в действие орошаемых и обводняемых земель в следующих количествах по годам —

Годы	Площадь орошения, тыс. гектаров	Площадь обводнения, тыс. гектаров
1952	100	100
1953	125	250
1954	125	250
1955	200	500
1956	200	900

б) обеспечить широкое использование электроэнергии в сельском хозяйстве на пахоте и проведении других работ электротракторами в полеводстве, а также применение электроэнергии для комплексной механизации трудоемких работ в животноводстве и в других отраслях колхозного и совхозного производства.

5. Возложить на Гидропроект изыскания, исследования и проектирование, а на Волго-Донстрой строительство Донского магистрального и всех распределительных каналов для орошения и обводнения земель с насосными станциями и другими сооружениями на них и плотин с сооружениями на регулирующих водохранилищах.

6. Возложить на Министерство сельского хозяйства СССР, Министерство хлопководства СССР и Министерство совхозов СССР изыскания, проектирование и строительство оросительной, обводнительной сети и необходимых гидротехнических сооружений на ней.

7. Предложить Министерству лесного хозяйства СССР, Министерству сельского хозяйства СССР и Министерству совхозов СССР одновременно со строительством оросительной и обводнительной сети производить полезное лесонасаждение.



Учет потерь на корону в линиях электропередачи 400 кВ

Кандидат техн. наук, доц. В. А. ВЕНИКОВ и инж. Д. А. ФЕДОРОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

При проектировании линий электропередачи с рабочим напряжением порядка 400 кВ потери мощности, связанные с явлением короны, не могут не учитываться при выборе диаметра провода и технико-экономической оценке различных вариантов.

Существующие расчетные формулы для определения потерь на корону не дают сколько-нибудь надежных результатов в силу того, что в эти формулы входят эмпирические коэффициенты, определенные при напряжениях, значительно меньших 400 кВ, и при прочих условиях, не соответствующих проектируемым линиям наивысшего напряжения. Так, например, расчеты потерь на корону, выполненные по формуле Петерсона, дают сравнительно хорошее совпадение с опытными результатами только при относительно малых напряжениях (рис. 1). Расчет потерь по формуле Пика обычно дает лучшее совпадение с результатами опытных измерений при больших значениях приложенного напряжения и без учета потерь, имеющих место до наступления так называемого критического напряжения. Кроме того, этими формулами невозможно учесть все разнообразие метеорологических условий, часто решающим образом сказывающихся на величине потерь. Результаты расчетов достигают наибольшего расхождения с экспериментальными данными при плохих условиях погоды.

Анализ результатов и сопоставление их с данными опытов показывает, что из всех известных методов более или менее удовлетворительные результаты в определении потерь на корону дает предложенный в свое время полуэмпирический метод [Л. 1], основывающийся на обработке значительного количества опытных данных. Однако применение этого метода весьма ограничено; так, для проводов больших диаметров (порядка 50 мм) при значительных расстояниях между ними ($D=11-12$ м) и тем более для расщепленных проводов этот метод пока неприменим, ввиду отсутствия исходных экспериментальных данных.

Рассматриваются вопросы определения потерь мощности и энергии на корону в технико-экономических расчетах, проводимых в связи с проектированием протяженных линий электропередачи сверхвысоких напряжений. Предлагаемая авторами методика пересчета экспериментальных данных к расчетным условиям, а также определение среднегодовых потерь и максимальных потерь по всей трассе линии помещаются в порядке обсуждения.

Формулы Майра, наиболее полно отражающие процессы, происходящие при коронировании провода, дают удовлетворительные результаты также только при надлежащим образом подобранных

коэффициентах. Поэтому наиболее надежным средством определения потерь на корону для целей проектирования линий напряжением порядка 400 кВ может считаться непосредственная обработка и пересчет экспериментальных данных, полученных при различных метеорологических условиях.

При сравнительных исследованиях различных вариантов выполнения линий электропередачи, например, проведенных кафедрой электрических сетей и систем МЭИ [Л. 2], когда наиболее важны не абсолютные величины потерь на корону, а их относительное значение, представлялось целесообразным основываться на обработке имеющихся экспериментальных материалов, относящихся к проводам с параметрами, достаточно близкими к параметрам проектируемых линий 400 кВ.

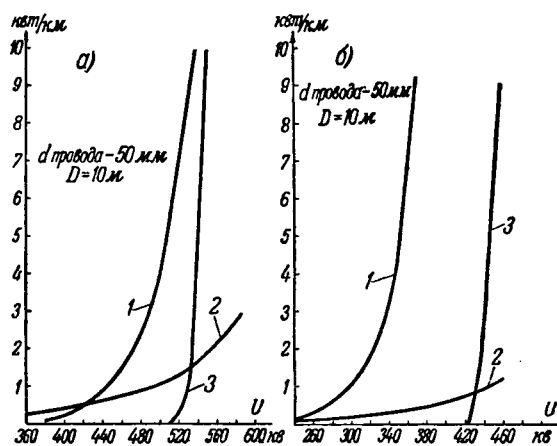


Рис. 1. Трехфазные потери на корону. Сопоставление опытных данных потерь на корону с расчетными. а—хорошая погода; б—плохая; 1—опытная кривая; 2—по Петерсону; 3—по Пика.

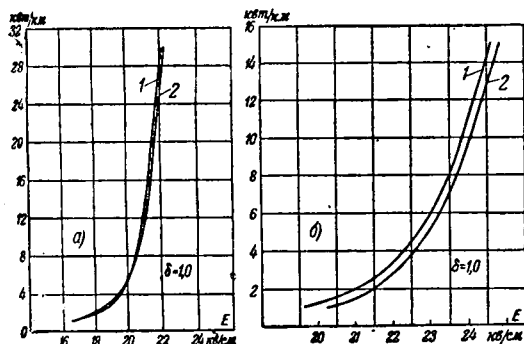


Рис. 2. Трехфазные потери на корону в зависимости от напряженности электрического поля на поверхности провода.

а—при одном и том же диаметре провода, $d=37,8$ мм, при D , равном 9,15 м (кривая 1) и 6,7 м (кривая 2); б—при $D=6,1$ м и диаметре провода 23 мм (кривая 1) и 25,5 мм (кривая 2).

Сюда входили результаты измерений на опытной линии с одиночными и расщепленными проводами диаметром 27,7 и 31,7 мм (расстояние между проводами в фазе $m=450$ мм), измерения, проводившиеся на линии с различными расщепленными проводами, примерно тех же диаметров ($m=400$ мм) [Л. 3]. Кроме этого использовались данные опытов, относящиеся к проводам диаметром 50 мм.

Как правило, опытные данные дают значительный разброс даже в условиях одной группы погоды. Поэтому приведенные в статье величины потерь на корону основывались на осредненных значениях опытных данных.

В соответствии с методом частичного подобия, примененного для пересчетов, можно считать, что для данного диаметра провода и данной плотности воздуха потери на корону при изменении прочих условий неизменны, если одинакова напряженность электрического поля на поверхности провода ($E = \text{const}$), или

$$P = \text{const, если } \frac{CU}{r} = \text{idem,}$$

где C —рабочая емкость;

U —напряжение;

r —радиус провода.

Анализ ряда опытных данных показывает, что даже при значительном изменении диаметра провода (рис. 2), но при одной и той же напряженности электрического поля характер зависимости $P=f(E)$ сохраняется, хотя разница в величине потерь мощности и имеет место. Поэтому условие постоянства потерь при одинаковых градиентах на поверхности провода и при неизменной плотности воздуха можно приблизительно распространить и на случаи, когда диаметр провода изменится в небольших пределах.

Потери на корону резко меняются с изменением метеорологических условий. Пересчет потерь с условий погоды, соответствующих экспериментам, на расчетные может производиться по относительной плотности воздуха δ . При этом должно учитываться, что при определенных условиях погоды (ясно, дождь, снег и т. п.) могут быть

различные значения относительной плотности δ , связанной с температурой и давлением воздуха ($\delta = \frac{3,92 \cdot b}{t + 273}$, где b —давление воздуха в см рт. ст.; t —температура воздуха в °С).

Критическое напряжение короны можно приближенно считать пропорциональным δ^α . При практически имеющих место изменениях плотности воздуха можно принять, что не только критическое напряжение, но и напряжение, соответствующее одним и тем же потерям, изменяется также пропорционально δ^α . При указанных допущениях потери на корону у различных электропередач одинаковы, если

$$\frac{\delta^\alpha}{E_{\text{макс}}} = \text{idem,}$$

где $E_{\text{макс}}$ —максимальная напряженность электрического поля на поверхности провода.

Введение в расчеты средней или „полусредней“ ($E = \frac{E_{\text{ср}} + E_{\text{макс}}}{2}$) напряженностей не вносит заметных изменений в найденные значения потерь.

Условие равенства потерь на корону приводит к следующим соотношениям, используемым при пересчете опытных данных:

$$U_1 = U_2 \frac{d_1}{d_2} \frac{C_2}{C_1} \left(\frac{\delta_1}{\delta_2} \right)^\alpha$$

для одиночных проводов,

$$U_1 = U_2 \frac{d_1}{d_2} \frac{C_2}{C_1} \frac{1 + \frac{d_2}{m}}{1 + \frac{d_1}{m_1}} \left(\frac{\delta_1}{\delta_2} \right)^\alpha$$

для проводов, расщепленных на два в фазе,

где d —диаметр провода;

m —расстояние расщепления.

Выбор величины коэффициента α , достаточно точно отражающего соотношение между плотностью воздуха и градиентом на поверхности провода при неизменных потерях, затрудняется недостаточной полнотой имеющихся экспериментальных данных. Приближенно принимая, что α в пределах рассматриваемых изменений плотности воздуха и диаметра провода постоянен, и ориентируясь на опыты Пика или Петерсона, можно принять $\alpha = 1$, или $\alpha = \frac{2}{3}$.

Влияние выбора коэффициента α на величину потерь иллюстрирует рис. 3, а, где представлены потери на корону в зависимости от напряжения, найденные в результате пересчета опытных данных, полученных на линии с двумя расщепленными проводами. Некоторые из сравнительных измерений [Л. 3], проводившихся на опытных участках линий, расположенных на различной высоте над уровнем моря, говорят в пользу использования коэффициента $\alpha = \frac{2}{3}$ (рис. 3, б). Следует при этом иметь в виду, что пересчет данных опыта к плотности воздуха δ , меньшей,

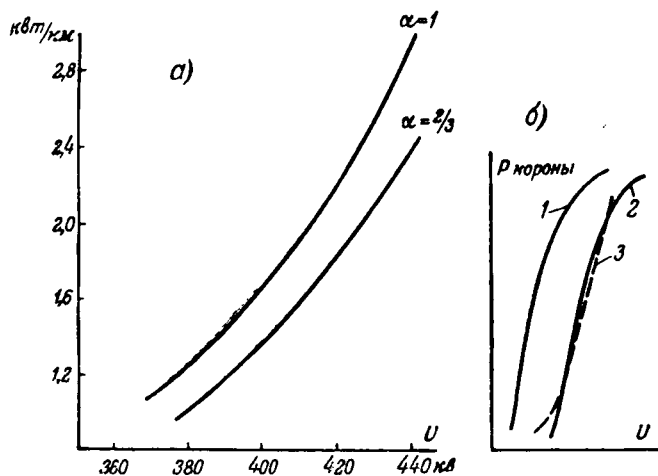


Рис. 3. Влияние коэффициента α на определение величины потерь на корону на одну фазу.

α — пересчет среднегодовых потерь на корону к $\delta=1$ для линий с проводами диаметром 31,7 мм (расщепление на два провода в фазе); б — сопоставление результатов пересчета по $\alpha=2/3$ с данными измерений на опытной линии с диаметром провода 14,7 мм; 1 — высота над уровнем моря $h=1830$ м, 2 — $h=90$ м; 3 — пересчет кривой 1 по $\alpha=2/3$.

чем наблюдавшаяся при опыте, приводит при $\alpha=1$ к большим значениям потерь на корону, чем при $\alpha=2/3$.

Можно различать годовые потери энергии по всей трассе линии, и потери на столь коротком участке линии Δl , что по всему этому участку следует считать условия погоды одинаковыми. Годовые потери электроэнергии на коротком

участке определяются, как $\Delta \mathcal{E} = \int_0^{8760} P_i \Delta l dt$, где

P_i — потери мощности на 1 км — принимает всевозможные значения, соответствующие различным условиям погоды в течение года.

Сводя все многообразие условий погоды к четырем группам и учитывая, что в каждой из этих групп могут быть наименьшие ($P_{\min}$) и наибольшие ($P_{\max}$) потери, можно приближенно записать:

$$\Delta \mathcal{E} = 87,6 \cdot \Delta l \sum_{i=1}^4 P_i \frac{P_{i \max} + P_{i \min}}{2} \Delta t \%,$$

где $\Delta t \%$ — годовая продолжительность данных условий погоды в процентах. Условия погоды при этом разделяются так:

Группа	Погода	Краткая характеристика
I	Хорошая	Ясно, безоблачно
II	Средняя	Полужасно, облачно
III	Плохая	Пасмурно, слабый дождь, снегопад при влажном воздухе
IV	Очень плохая	Туман, гололед, изморозь, сильный дождь

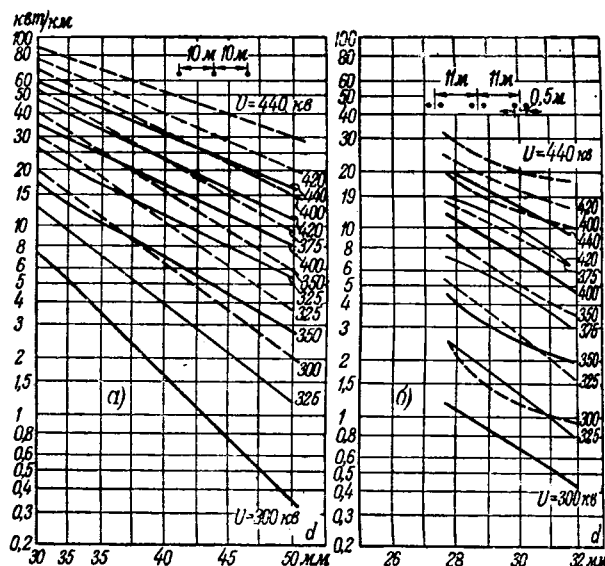


Рис. 4. Потери на корону на фазу в зависимости от диаметра провода при различных напряжениях и $\delta=1$ (IV группа погоды).

α — одиночные провода; б — расщепленные (сплошные линии соответствуют нижнему пределу потерь, пунктирные — верхнему).

Барометрическое давление и температура не входят в характеристику условий погоды, так как исходные экспериментальные данные приводятся к $\delta=1$ или к конкретным значениям δ , соответствующим принятым условиям погоды на данной трассе.

Рис. 4 представляет потери мощности на корону для одиночных и расщепленных проводов при различных напряжениях в зависимости от диаметра провода. Кривые получены пересчетом экспериментальных данных к $\delta=1$ для наихудших условий погоды (IV группа).

Имея данные для других условий погоды (I, II, III группы) и установив на основании метеорологических данных продолжительность этих условий, легко перейти к графику продолжительности потерь на коротком участке линии. График этот позволяет определить годовые потери энергии и среднегодовые потери мощности. Предполагая, что чередование различной погоды на трассе линии в течение года одинаково, можно считать, что $\Delta \mathcal{E} = \Delta P_{cp} \cdot 8760$.

Годовая продолжительность различных условий погоды в значительной степени зависит от расположения трассы линии передачи. При определении годовых потерь энергии на корону было принято два варианта продолжительности, более тяжелый и более легкий, отличающиеся между собой по соотношению хороших и плохих условий погоды. Второй вариант соответствует уменьшению среднегодовых потерь мощности примерно на 15–20%.

Графики рис. 5, построенные для конкретного случая, иллюстрируют влияние продолжительности метеорологических условий. Интересно отметить, что пересчет экспериментальных данных к плотности воздуха, соответствующей конкретным условиям, дает уменьшенное значение по-

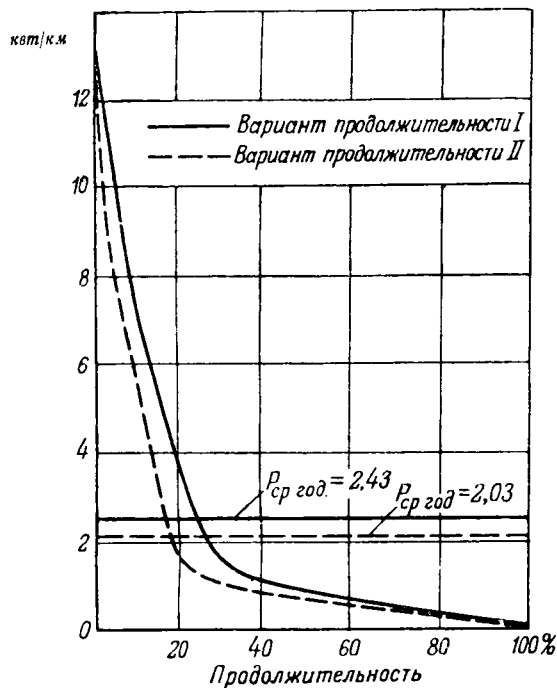


Рис. 5. Влияние продолжительности условий погоды на величину среднегодовых потерь мощности на корону (на фазу). Расщепление на два провода $d=29,3$ мм, напряжение 400 кВ, $D=11$ м.

герь на корону по сравнению с расчетом потерь по $\delta = 1$.

Для одиночных проводов линий 400 кВ $d=50$ мм и для проводов, расщепленных на два диаметром $d=29,3$ мм ($2 \times \text{АСУ-400}$) при расстоянии между проводами различных фаз 10 и 11 м, среднегодовые потери мощности в кВт/км на фазу характеризуются следующими значениями:

	$\delta=1$		$\delta=\text{var}$	
	Продолжительность условий погоды			
	I вариант	II вариант	I вариант	II вариант
Одиночный про- вод $d=50$ мм.	1,44	1,32	0,76	0,7
Расщепленный на два $d=29,3$ мм.	2,43	2,03	2,11	1,8

Некоторая неопределенность, неизбежная при недостаточных исходных данных, заставляет считать найденные величины потерь на корону ориентировочными, показывающими только граничные области, в которых лежат вероятные значения потерь. Так, например, для проводов $2 \times \text{АСУ-400}$ можно в конечном счете ожидать значение среднегодовых потерь мощности от 1,8 до 2,43 кВт/км на фазу, для проводов АСУП с диаметром $d=50$ мм — от 0,7 до 1,44 кВт/км на фазу. Несомненно, что дальнейшие исследования потерь на корону и, особенно, опытные измерения с изучением метеорологических условий позволят уточнить этот вопрос и, возможно, укажут на снижение приведенных здесь значений.

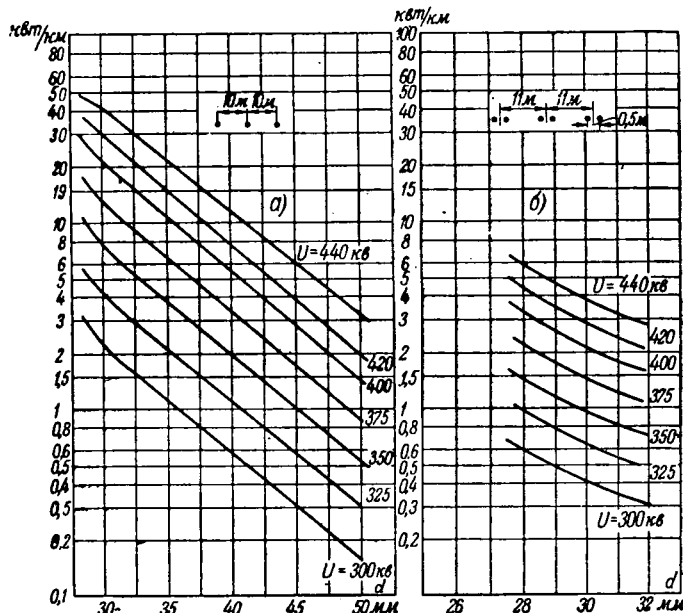


Рис. 6. Среднегодовые потери мощности на корону в зависимости от диаметра провода при различных напряжениях.

а—одиночные провода; б—расщепленные.

Однако нельзя предвосхищать эти результаты и, проявляя известную осторожность, следует ориентироваться на менее благоприятные условия пересчета экспериментальных данных и на менее благоприятные метеорологические условия. Тогда при различном выполнении линии можно ожидать, что потери мощности на корону (среднегодовые) будут иметь порядок, соответствующий приведенным на рис. 6 и в следующей таблице значениям:

Марка провода и выполнение линий	Диаметр провода, мм	Напряжение, кВ		
		80	400	440
		Среднегодовые потери на корону, кВт/км на фазу		
$2 \times \text{АСУ-400}$	29,3	1,8	2,45	4,3
$2 \times \text{АСУ-500}$	32	1,2	1,52	2,9
$2 \times \text{АСУ-600}$	34	0,95	1,30	2,2
$1 \times \text{АСУП}$	46	1,97	2,4	5,4
$1 \times \text{АСУП}$	48	1,35	1,9	4,15
$1 \times \text{АСУП}$	50	1,0	1,45	3,11

При расщеплении фазы линии на четыре провода потери на корону значительно уменьшаются, составляя 70—80% от величины потерь при проводах $2 \times \text{АСУ-400}$.

При определении потерь мощности на корону, имеющих место на всей длине линии при наиболее неблагоприятных атмосферных условиях, приходится учитывать возможное распределение погоды вдоль трассы линии. На коротких линиях длиной 100—200 км по всей трассе может иметь место наиболее плохая погода (IV группа погоды). Однако мало вероятно, чтобы полоса густого тумана или дождя часто и длительно захватывала

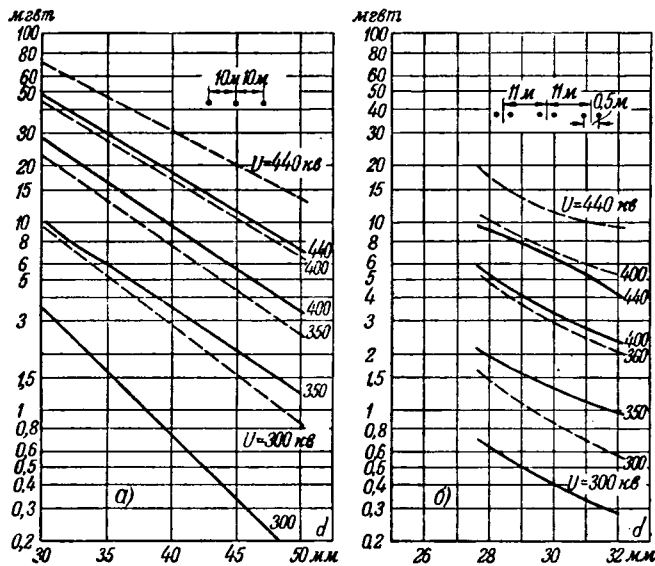


Рис. 7. Потери на корону по всей длине линии на фазу в зависимости от диаметра провода при различных напряжениях ($I = 1\,200\text{ км}$) (сплошные линии соответствуют нижнему пределу потерь, пунктирные—верхнему).

а—одиночные провода, б—расщепленные.

вала участок трассы более 250 км^1 . С другой стороны, нельзя не считаться с тем, что на линиях весьма большой протяженности можно ожидать плохую погоду одновременно на нескольких участках трассы линии.

На рис. 7 приведены величины потерь мощности на корону вдоль линии длиной $1\,200\text{ км}$ при

¹ Это возможно в виде исключения и не может рассматриваться как расчетный случай.

неблагоприятных метеорологических условиях, исходя из распределения погоды вдоль трассы, характерного для средней полосы Европейской части СССР.

Закключение. Получение достаточно надежных данных потерь на корону возможно только после проведения специально поставленных измерений. Эти измерения должны проводиться на опытных участках однофазных и трехфазных линий с одинаковыми и расщепленными проводами, имеющими параметры, соответствующие проектируемым линиям 400 кВ .

Для проверки методики пересчета потерь на корону необходимо проведение ряда одновременных (при одинаковых метеорологических условиях) измерений на опытных участках линий различного выполнения. Эти же опыты могут выявить эффект увеличения емкости линий при возникновении короны. Опыты при последовательной замене одних проводов другими не могут дать достаточных данных для проверки методики и установления коэффициентов пересчета. Следует подчеркнуть, что экспериментальные исследования процессов, связанных с эффектом короны, должны быть проведены при различных метеорологических условиях в течение достаточно длительного времени и одновременно на линиях, различно выполненных.

Литература

1. Техника высоких напряжений. под ред. Л. И. Сиротинского, вып. I, ГЭИ, стр. 161—165, 1940.
2. В. А. Веников, Г. М. Розанов, Н. Н. Соколов. Характеристики дальних электропередач. Электричество. № 7, 1950.
3. Материалы международной конференции по электрическим системам. CIGRE, Париж, 1948.

[16. 10. 1960]



Тепловые и электромагнитные характеристики турбогенераторов с водородным охлаждением¹

Кандидат техн. наук Н. А. ПОЛЯК

Энергетический институт Академии наук СССР

Преимущества водородного охлаждения по сравнению с воздушным общеизвестны: 1) при той же мощности машины, тех же $\cos \varphi$ и отношении короткого замыкания и тех же размерах активной части вентиляционные потери меньше, к. п. д. больше, нагревы (превышения температуры) меньше; 2) в тех же размерах активной части, при тех же $\cos \varphi$, отношении короткого замыкания и нагревах можно получить большую мощность.

В настоящее время строятся почти исключительно двухполюсные турбогенераторы и только такие машины здесь нами рассматриваются. Ротор турбогенератора, особенно двухполюсного, является наиболее напряженной частью машины не только в механическом, но и в тепловом отношении.

В электромагнитном отношении ротор характеризуется линейной нагрузкой A_2 , равной числу ампер на сантиметр окружности, и магнитной индукцией B_2 в зазоре между статором и ротором на поверхности ротора.

Активная мощность турбогенератора P_A (квт) следующим образом связана [Л. 1, 2, 3] с размерами активной его части D_2 и L_2 , скоростью вращения n , синусом угла Θ (между векторами э. д. с. холостого хода и напряжения на выводах турбогенератора в номинальном режиме) и удельными нагрузками ротора A_2 и B_2 :

$$P_A = \left[\frac{\pi}{3} \frac{\sin 90\gamma}{\gamma} \left(1 - \frac{x_p}{x_d} \right) \right] A_2 B_2 D_2^2 L_A n \sin \Theta \cdot 10^{-6}; \quad (1)$$

здесь γ — доля обмотанной части окружности ротора или отношение числа пазов, заполненных обмоткой, к числу зубцовых делений ротора;

Применение водородного охлаждения позволяет строить более мощные турбогенераторы с лучшими характеристиками. Применение водорода под повышенным давлением увеличивает эту возможность. Для полного использования преимуществ водородного охлаждения необходимы некоторые конструктивные изменения турбогенератора.

x_p — реактивное сопротивление в известной диаграмме для неявнополюсных генераторов;

x_d — синхронное реактивное сопротивление;

D_2 — диаметр ротора, м;

L_A — длина активной части турбогенератора, м;

n — число оборотов в минуту.

Произведение в квадратных скобках правой части выражения (1) практически мало зависит от выполнения турбогенератора. Для современных машин его можно с достаточной точностью оценить коэффициентом 1,18. Тогда

$$P_A = 1,18 \cdot A_2 B_2 D_2^2 L_A n \sin \Theta \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

а при заданных размерах и заданной скорости вращения

$$P_A \equiv A_2 B_2 \sin \Theta. \quad (3)$$

Чтобы в заданных размерах разместить большую активную мощность, необходимо применять большие A_2 и B_2 , либо увеличивать $\sin \Theta$. Увеличение $\sin \Theta$ влечет за собой ухудшение электромагнитных свойств турбогенератора как в установившемся, так и в переходном режиме и потому возможно лишь в небольших пределах. Повышение линейной нагрузки A_2 влечет за собой увеличение потерь и нагрева и потому возможно лишь при улучшенном охлаждении. Вопрос о применении более высоких значений индукций B_2 нельзя рассматривать изолированно от величины линейной нагрузки и общего выполнения машины.

Линейные нагрузки роторов. Несмотря на различия в выполнении отдельных турбогенераторов, оказалось возможным установить приведенные в приложении средние соотношения между величинами, характеризующими пазы, и диаметром активной части ротора. Индексы штрих (') и два штриха (") соответствуют двум исполнениям пазов ротора, различающимся отно-

¹ По материалам доклада на Пленуме секций электрических машин ВНИТОЭ и Технического совета Министерства электропромышленности СССР 24 марта 1950 г. в Ленинграде (Электричество, № 8, 1950).

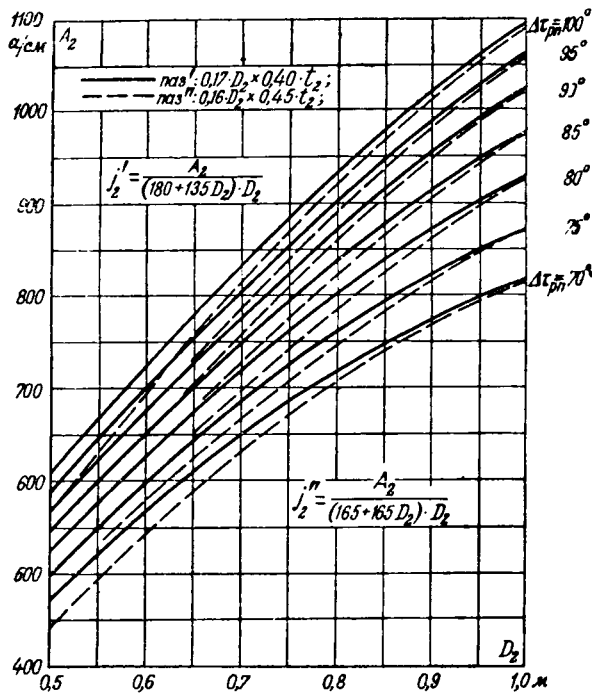


Рис. 1. Линейные нагрузки роторов двухполюсных турбогенераторов с воздушным охлаждением в зависимости от расчетного превышения температуры пазовой части обмотки и диаметра ротора. Расчетные условия: номинальный режим турбогенератора, нагрев воздуха 30° С, из них—в вентиляторах в среднем 6° С; нагрев ротора добавочными потерями 10° С.

шениями глубины паза к диаметру (0,17 и 0,16) и ширины паза к зубцовому делению (0,40 и 0,45).

Линейная нагрузка ротора A_2 , плотность тока в обмотке и сумма сечений проводников по окружности Σq связаны следующим образом:

$$\frac{A_2}{j_2} = \frac{\Sigma q}{\pi D_2 \cdot 100}. \quad (4)$$

При максимально возможном заполнении пазов ротора медью плотность тока следующим образом связана с линейной нагрузкой и диаметром ротора:

при пазах исполнения (')

$$j_2' = \frac{A_2}{(180 + 135 D_2) D_2}; \quad (5)$$

при пазах исполнения (")

$$j_2'' = \frac{A_2}{(165 + 165 D_2) D_2}. \quad (6)$$

Основываясь на этих соотношениях, а также на данных о коэффициентах теплоотдачи с поверхности и тепловых сопротивлениях материалов, мы определили расчетным путем зависимости линейных нагрузок ротора от его диаметра и превышения температуры пазовой части обмотки $\Delta \tau_{р.п.}$ (рис. 1 и 2). Здесь имеется в виду расчетное превышение температуры независимо рассматриваемой пазовой части. Иначе

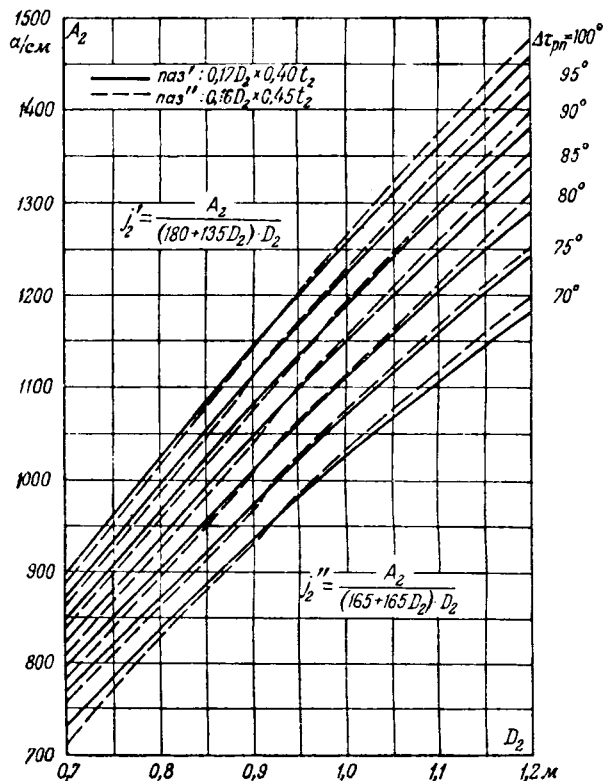


Рис. 2. Линейные нагрузки роторов двухполюсных турбогенераторов с водородным охлаждением при давлении 0,03 атм в зависимости от расчетного превышения температуры пазовой части обмотки ротора и диаметра ротора. Расчетные условия: номинальный режим турбогенератора, нагрев водорода 30° С, из них в вентиляторах 1° С; нагрев ротора добавочными потерями 7,5° С.

говоря, превышение температуры обмотки теоретического бесконечно длинного ротора, у которого нагрев лобовых частей не оказывает влияния ни на превышение температуры пазовой части, ни на среднее превышение температуры обмотки в целом. Во всех случаях имеется в виду номинальный режим турбогенератора. Нагрев охлаждающей среды в номинальном режиме при воздушном и при водородном охлаждении с давлением 0,03 атм принят равным 30° С. Из них нагрев в вентиляторе 6° при воздушном и 1° при водородном охлаждении. Нагрев 6° соответствует воздушному охлаждению машин с активной длиной, не превосходящей 3—4 м. При более длинных роторах должна вводиться поправка на увеличение нагрева (табл. 1 и 2). Тепловое сопротивление пазовой бронированной гильзы ротора при водородном охлаждении принято таким же, как при воздушном.

Чем больше диаметр ротора и чем выше выбранное превышение температуры, тем больше возможная линейная нагрузка (рис. 1 и 2). При применении водородного охлаждения линейная нагрузка больше. Разница тем более значительна, чем больше диаметр ротора и чем меньше превышение температуры.

Переход с воздушного на водородное охлаждение сопровождается перераспределением перепадов температур на отдельных участках пути от-

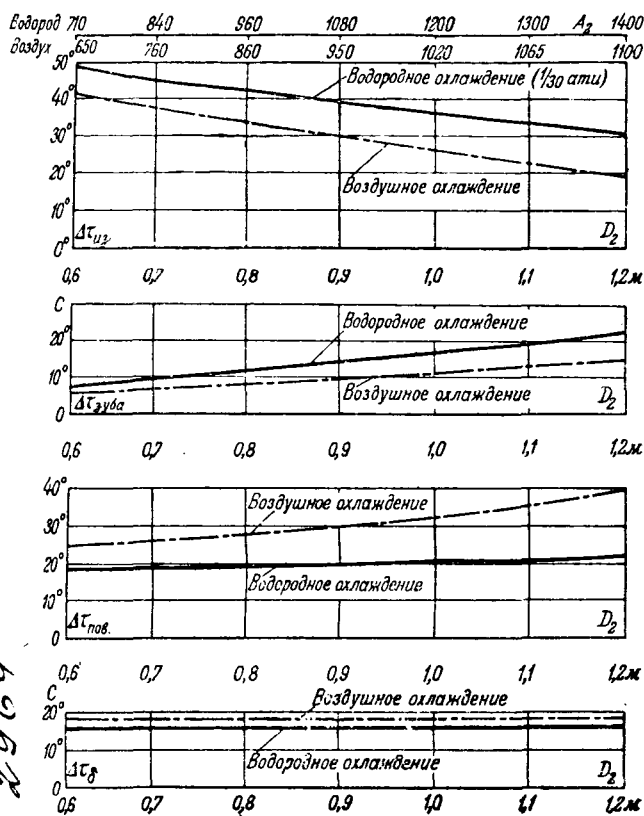


Рис. 3. Перепады температур на отдельных участках отвода тепла от среднего по нагреву витка катушки обмотки ротора при воздушном и при водородном охлаждении. Расчетное превышение температуры независимо рассматриваемой пазовой части обмотки 90°C .

вода тепла (рис. 3). Общий характер изменения перепадов в зависимости от диаметра одинаков для воздушного и водородного охлаждения, но размеры перепадов — в изоляционной пазовой гильзе и по высоте зуба — при водородном охлаждении больше, чем при воздушном, а перепад с поверхности и нагрев охлаждающей среды в зазоре между ротором и статором при водородном охлаждении меньше, чем при воздушном. Здесь имеется в виду водородное охлаждение при избыточном давлении внутри машины в размере около $0,03\text{ атм}$, т. е., по существу, при атмосферном давлении.

Применение водородного охлаждения под повышенным давлением дает возможность при тех же превышениях температур дополнительно увеличить линейную нагрузку ротора. Это связано с тем, что при повышенных давлениях не только соответственно больше коэффициенты теплоотдачи с поверхности (определенные нами расчетным путем), но и вследствие более высокой объемной теплоемкости водорода под повышенным давлением, при прочих равных условиях, меньше нагрев охлаждающей среды, а следовательно, ниже температуры водорода у охлаждаемых поверхностей.

Результаты наших подсчетов для ротора диаметром 1 м с пазами исполнения "приведены на рис. 4. Распределение перепадов температур по отдельным участкам пути отвода тепла здесь

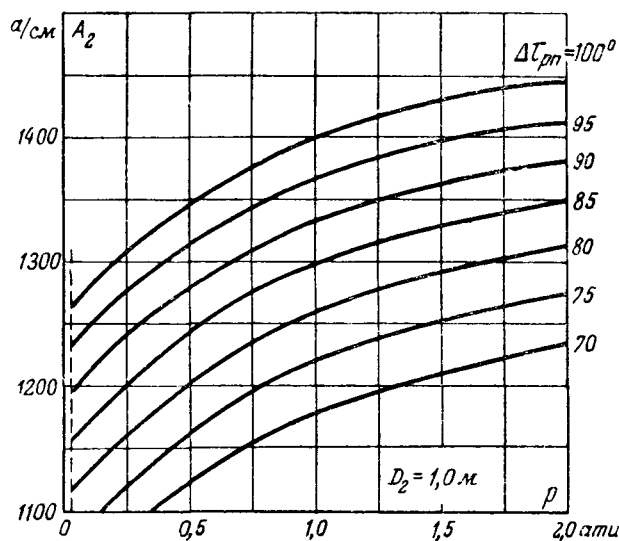


Рис. 4. Линейные нагрузки ротора диаметром 1 м в зависимости от избыточного давления водорода и расчетного превышения температуры пазовой части обмотки.

снова иное. Перепады в изоляционной гильзе и по высоте зуба еще больше. Они достигают при расчетном превышении температуры пазовой части 90° и избыточном давлении две атмосферы 50° (гильза) и 22°C (зуб). В таких условиях становятся более вероятными тепловые деформации катушек также и по высоте. Возникают вопросы о целесообразности изыскания новых изоляционных материалов, равнопрочных миканиту, но с меньшим тепловым сопротивлением, о дополнительном охлаждении по высоте зуба, о применении меди с улучшенными механическими свойствами и об ограничении максимальной температуры обмотки.

Применение избыточного давления в размере одной атмосферы позволяет (рис. 4) при том же превышении температуры увеличить линейную нагрузку ротора приблизительно на $11\text{--}12\%$, а при применении давления в размере двух атмосфер избыточных — дополнительно еще на 4% , всего по сравнению с $0,03\text{ атм}$ приблизительно на $15\text{--}16\%$. Существенно, что около трех четвертей общего повышения оказываются возможными уже при избыточном давлении в одну атмосферу.

Линейные нагрузки A_2 и соответствующие им плотности тока j_2 в обмотке, возможные у ротора диаметром 1 м при расчетном превышении температуры пазовой части 90° , приведены в табл. 1.

Применение повышенного давления при одной и той же линейной нагрузке ротора влечет за собой понижение нагрева. Из кривых рис. 5, также относящихся к ротору диаметром 1 м , следует, например, что при неизменной линейной нагрузке 1200 а/см повышение давления водорода с $0,03$ до 1 атм сопровождается уменьшением нагрева пазовой части обмотки на 20°C .

Дополнительным преимуществом применения водорода под большим избыточным давлением является улучшение условий работы газоохладителя и, следовательно, при тех же отводимых во-

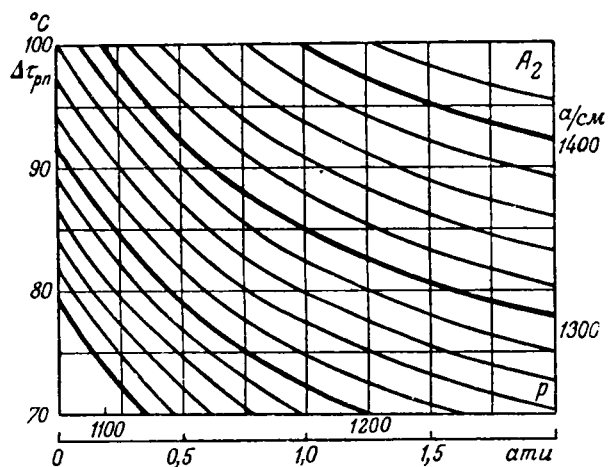


Рис. 5. Превышение температуры пазовой части обмотки ротора диаметром 1 м в зависимости от избыточного давления водорода при различных линейных нагрузках ротора.

Таблица 1

Охлаждение	$A_2, \text{ а/см}$	$j_2, \text{ а/мм}^2$	A_2, j_2 относительные единицы
Воздушное — по рис. 1 с поправкой на повышенный нагрев воз- духа в вентиляторах . . .	980	2,97	1,00
Водородное:			
0,03 ати	1 200	3,64	1,22
0,50	1 280	3,88	1,31
1,00	1 335	4,05	1,35
1,50	1 365	4,14	1,39
2,00	1 385	4,20	1,41

дородом потерях меньше размеры охладителя. Отрицательным обстоятельством является то, что чем больше избыточное давление водорода, на которое построен турбогенератор, тем меньше доля мощности, которая возможна при воздушном охлаждении. Ухудшение условий работы газоохладителя при переводе на воздушное охлаждение имеет при этом существенное значение. Турбогенератор, построенный для работы в номинальных условиях с повышенным избыточным давлением водорода, порядка полутора — двух атмосфер, при воздушном охлаждении вряд ли сможет нести больше одной трети своей номинальной мощности². Такая машина должна практически рассматриваться только как водородная.

Турбогенератор может быть построен для работы в номинальных условиях с малым давлением водорода, порядка 0,03—0,50 ати, но его можно снабдить уплотнениями, достаточными для работы при 1,5—2,0 ати. У такой машины в случае необходимости давление может быть поднято с 0,03—0,50 до 1,5—2,0 ати, а нагрузка

повышена по сравнению с номинальной. Однако, так как конструкции паровых турбин производства наших заводов таковы, что номинальная их мощность в то же время является наибольшей длительной, то перегрузка турбогенератора при повышении давления может относиться только к реактивной мощности генератора.

При эксплуатационной оценке нагрева обмотки ротора руководствуются средним превышением температуры, определяемым по изменению омического сопротивления обмотки. Среднее превышение зависит от превышений температур пазовой и лобовой части и может рассматриваться как критерий теплового режима обмотки только в том случае, если действительные температуры и той и другой части незначительно отличаются от средней. Это часто не имеет места у роторов турбогенераторов с воздушным охлаждением, но должно иметь место у любого правильно сконструированного ротора турбогенератора с водородным охлаждением.

Выясним соотношение между средним превышением и превышениями температуры пазовой и лобовой части. Длина пазовой части полувитка обмотки ротора равна активной длине машины. Сумма длин лобовых частей полувитка по обеим сторонам бочки двухполюсного ротора может быть приближенно оценена величиной $1,2 D_2$. В результате полная длина полувитка

$$\frac{L_s}{2} = L_A + 1,2 D_2 \quad (7)$$

и среднее превышение температуры обмотки

$$\Delta\tau_p = \frac{L_A \Delta\tau_{р.п} + 1,2 D_2 \Delta\tau_{р.л}}{L_A + 1,2 D_2}, \quad (8)$$

где $\Delta\tau_{р.п}$ и $\Delta\tau_{р.л}$ — расчетные превышения температуры отдельно рассмотренных пазовой и лобовой части.

Обозначим отношение активной длины к диаметру ротора коэффициентом k , а отношение расчетного превышения температуры лобовой части к такому же превышению пазовой — коэффициентом

$$\alpha = \frac{\Delta\tau_{р.л}}{\Delta\tau_{р.п}}. \quad (9)$$

Тогда

$$\Delta\tau_p = \frac{k + 1,2\alpha}{k + 1,2} \Delta\tau_{р.п}. \quad (10)$$

При прочих равных условиях существенное значение имеет отношение активной длины к диаметру ротора.

При $\alpha > 1$ наименее благоприятные условия имеют место при малых значениях k , т. е. у относительно коротких машин. Наоборот, при $\alpha < 1$ наименее благоприятны условия для относительно длинных машин.

Коэффициент α зависит от выполнения лобовых частей обмотки, от количества и распределения воздуха или водорода, поступающего в зону лобовых частей для их охлаждения, от плотно-

² Доля мощности зависит от отношения короткого замыкания и номинального $\cos \varphi$ турбогенератора.

сти тока в проводнике, от ширины витка, а при водородном охлаждении и от избыточного давления внутри машины.

При постройке турбогенераторов с воздушным охлаждением по эксплуатационным соображениям предпочитают покрывать лобовые части обмотки ротора изоляцией со всех сторон. Это защищает лобовые части от загрязнения. Поверх обшкатушечной изоляции насаживают алюминиевые седла. При таком выполнении устраняется возможность электрического замыкания между витками и на корпус из-за загрязнения, но, как показал эксплуатационный опыт [Л. 4], нередко нарушается изоляция под седлами. В тепловом отношении такое выполнение неблагоприятно. Превышение температуры лобовых частей больше превышения температуры пазовой части [Л. 5] не менее чем на 50%. Таким образом, в этих условиях

$$\alpha \geq 1,5. \quad (11)$$

При водородном охлаждении турбогенератора давление внутри машины всегда избыточное, и грязь извне не должна засасываться в машину. Попадание грязи и масла не может считаться нормальным и обусловлено недостаточностью хороших уплотнениями. Они должны быть усовершенствованы настолько, чтобы практически исключалась возможность загрязнения машины, в том числе и лобовых частей обмотки ротора. Тогда отпадет необходимость в покрытии лобовых частей изоляцией со всех сторон и в насадке алюминиевых седел. В качестве изоляции будут применяться только прокладки между витками, боковые поверхности катушек больше чем наполовину (распорки, клинья) будут оставаться открытыми и будут эффективно охлаждаться водородом, поступающим в зону лобовых частей.

При таком открытом выполнении превышение температуры независимо рассмотренных лобовых частей не только не выше, но в определенных условиях даже значительно ниже превышения температуры независимо рассмотренной пазовой части обмотки. Из литературных данных [Л. 7] о распределении температуры вдоль витка обмотки ротора турбогенератора 50 мвга с водородным охлаждением можно приблизительно установить, что превышение температуры лобовых частей, вероятно, не выходит за пределы 0,20—0,25 превышения температуры пазовой части. Это относится к турбогенератору со сравнительно небольшой линейной нагрузкой ротора, у которого по окружности стальных бандажей (капп) имеются вентиляционные отверстия.

В дальнейших наших подсчетах мы приняли с запасом, что в зависимости от величины избыточного давления водорода внутри машины

$$\alpha = 0,95 \dots 0,60. \quad (12)$$

При этом имеются в виду относительно большие линейные нагрузки A_2 и бандажи без вентиляционных отверстий.

Очевидно, что если при водородном охлаждении коэффициент α меньше единицы, то лобовые

части благоприятно влияют на размер среднего превышения температуры обмотки ротора и, следовательно, возможное увеличение A_2 по сравнению с воздушным охлаждением выше указанного в табл. 1.

Рассмотрим в качестве примера турбогенератор, у которого длина активной части 6 м, а диаметр ротора — 1 м.

При воздушном охлаждении лобовых частей ротора с седлами и коэффициенте α , равном 1,5,

$$\Delta\tau_p = \frac{6 + 1,2 \cdot 1,5}{6 + 1,2} \cdot \Delta\tau_{p.n} = 1,08 \Delta\tau_{p.n}. \quad (13)$$

При водородном охлаждении и давлении 0,03 *ати*, с описанными выше открытыми (без обшкатушечной изоляции и без седел) и хорошо обдуваемыми водородом лобовыми частями,

$$\Delta\tau_p = \frac{6 + 1,2 \cdot 0,95}{6 + 1,2} \Delta\tau_{p.n} = 0,99 \Delta\tau_{p.n}. \quad (14)$$

Если иметь в виду одно и то же среднее превышение температуры обмотки, например 90°, следует для пазовой части выбрать: при воздушном охлаждении $\Delta\tau_{p.n} = 83^\circ$, а при водородном охлаждении и 0,03 *ати* $\Delta\tau_{p.n} = 91^\circ$. Более высоким избыточным давлением водорода соответствуют еще большие $\Delta\tau_{p.n}$.

В результате подсчетов мы пришли к линейным нагрузкам и плотностям тока, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Охлаждение	$A_2, \text{ а/см}$	$j_2, \text{ а/мм}^2$	A_2, j_2 относительные единицы
Воздушное по рис. 1 с поправкой на повышенный нагрев воздуха в вентиляторах . . .	910	2,76	1,00
Водородное при: 0,03 <i>ати</i>	1 200	3,64	1,32
0,50	1 300	3,94	1,43
1,00	1 365	4,14	1,50
1,50	1 400	4,25	1,54
2,00	1 430	4,34	1,57

В данном случае при избыточном давлении водорода в две атмосферы и среднем превышении температуры обмотки 90° возможная линейная нагрузка ротора почти на 60% больше, чем при воздушном охлаждении ротора, выполненного с обшкатушечной изоляцией и седлами на лобовых частях. Эти соображения основаны на результатах нашего расчетно-теоретического исследования. Необходимо проверить их экспериментально.

Для этого следовало бы произвести серию подробных тепловых испытаний нескольких турбогенераторов с водородным охлаждением при различных давлениях водорода внутри машины и сопоставить результаты с соответствующими детальными проверочными тепловыми расчетами. Это даст возможность выяснить действительные размеры коэффициентов теплоотдачи с поверхности и действительные тепловые сопротивления изоляционных материалов в среде водорода, а также соотношения утечек водорода при различных давлениях внутри машины.

Сформулируем условия, при которых, по нашему мнению, осуществимы линейные нагрузки, указанные в табл. 2 для ротора диаметром 1 м с активной длиной 6 м.

1. Уплотнение вала и всей системы: а) должно быть совершенно исключено загрязнение машины, в частности, попадание грязи и масла на лобовые части обмотки ротора; б) утечка водорода, составляющая в настоящее время [Л. 6] у машин завода «Электросила» от 0,08 до 0,14 м³/мгвт в сутки, должна быть при 0,03 атм уменьшена по крайней мере в полтора-два раза [Л. 8].

2. Выполнение лобовых частей обмотки ротора. При выполнении уплотнений согласно условию 1 лобовые части должны быть без общекатушечной изоляции и алюминиевых седел, и боковые части медных витков должны оставаться открытыми для обдувки водородом. Междувитковая изоляция должна выполняться не микалентой, а изоляционными прокладками из миканита или иного равноценного материала; прокладки должны быть механически достаточно прочны и не должны ни выкрашиваться, ни выветриваться.

При лобовых частях без общекатушечной изоляции перевод турбогенератора на работу с воздушным охлаждением может сопровождаться загрязнением лобовых частей обмотки ротора со всеми связанными с этим неприятными последствиями. Во избежание этого в таких случаях пришлось бы поддерживать внутри машины небольшое избыточное давление воздуха от баллонов со сжатым воздухом.

3. Боковые поверхности меди лобовых частей должны достаточно эффективно обдуваться водородом. Отверстия для выхода водорода из зоны лобовых частей и входные отверстия должны быть достаточного сечения. С этой точки зрения желательны стальные бандажные кольца без центрирующих колец на валу ротора (консольные цельнокованные, насаженные только на тело ротора).

4. Применение пропеллерных вентиляторов. Для увеличения пропуска водорода через зону лобовых частей ротора целесообразно повысить давление на входе водорода в зону лобовых частей, и для этого применять пропеллерные, и не центробежные вентиляторы.

5. Ограничение перепада температуры в изоляции обмотки ротора либо применение специальной меди.

Следует ограничить перепады температур в изоляционной гильзе и по высоте зубца ротора, которые при повышенных давлениях водорода могут оказаться чрезмерными и потому вызывать тепловые деформации обмотки. Либо для изготовления катушек ротора должна применяться специальная медь с улучшенными механическими свойствами.

Магнитные индукции в зазоре. Переходим теперь к вопросу о возможных наибольших магнитных индукциях в зазоре между ротором и статором. Это имеет существенное значение в двух случаях: 1) при технико-экономическом исследовании вопроса о наиболее целесообразном выполнении турбогенератора; 2) при проектировании особенно крупных турбогенераторов, когда в рассматриваемых условиях исчерпаны все возможности дальнейшего повышения линейной нагрузки ротора.

Именно с этой второй точки зрения будем рассматривать вопрос.

Исключим из рассмотрения потери в зубцах статора, предположив для этого, что при значительной магнитной индукции в зазоре применена листовая сталь с соответственно меньшими удельными потерями. Предположим, что внешний диаметр корпуса статора, включая газоохладители, не выходит за габариты, определяемые условиями транспорта готовой машины по железной дороге, а потому магнитная индукция в спинке статора не достигает значений, при которых поток заметным образом вытесняется в неактивные части статора.

В таких условиях наибольшее возможное значение магнитной индукции в зазоре между ротором и статором крупного турбогенератора определяется, во-первых, минимальным размером зазора по условиям прежде всего вентиляции и, во-вторых, соотношением магнитных проводимостей вдоль большого и вдоль малых зубцов ротора, которое во избежание заметного искажения формы кривой ε д. с. не должно превосходить определенной величины. Соотношение тем благоприятнее, чем больше зазор между ротором и статором и чем меньше индукция в зазоре.

Чтобы выполнить машину с возможно более высокой индукцией в зазоре, необходимо располагать возможно большей намагничивающей силой (н. с.) возбуждения на холостом ходу. Эта н. с. составляет часть полной н. с., создаваемой обмоткой ротора в номинальном режиме турбогенератора при заданном превышении температуры и пропорциональной $A_2 D_2$.

При определенном диаметре и определенной линейной нагрузке ротора намагничивающая сила возбуждения холостого хода тем больше, чем меньше кратность возбуждения в номинальном режиме, т. е. чем больше отношение короткого замыкания и номинальный коэффициент мощности турбогенератора.

Таким образом, чем больше диаметр ротора, линейная его нагрузка A_2 , отношение короткого замыкания и номинальный коэффициент мощности турбогенератора, тем больше может быть значение магнитной индукции в зазоре.

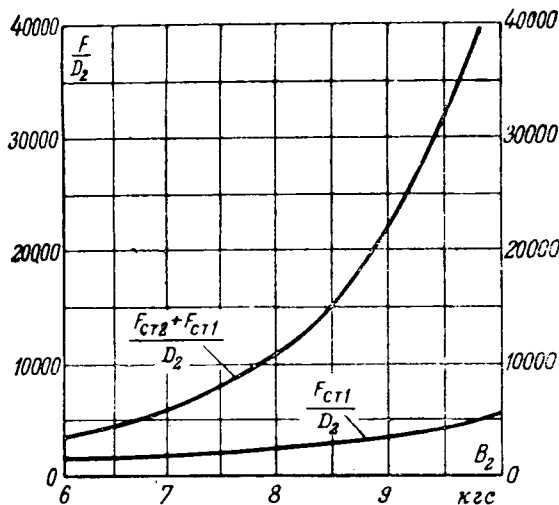


Рис. 6. Отношение намагничивающих сил, затрачиваемых на проведение магнитного потока через сталь ротора и статора, к диаметру ротора в метрах, в зависимости от магнитной индукции в зазоре на поверхности ротора в килогауссах. $F_{ст2}$ — н. с., необходимая для проведения потока через сталь ротора; $F_{ст1}$ — н. с., необходимая для проведения потока через сталь статора. Намагничивающая сила выражена числом ампервитков обмотки ротора.

Намагничивающая сила возбуждения на холостом ходу турбогенератора складывается из намагничивающей силы, необходимой для проведения магнитного потока через зазор между ротором и статором, и намагничивающей силы, необходимой для проведения потока через сталь ротора и статора. Намагничивающая сила, необходимая для проведения потока через сталь ротора и статора $F_{ст2} + F_{ст1}$, в первом приближении пропорциональна произведению диаметра ротора на определенную функцию (рис. 6) магнитной индукции в зазоре. Эта функция зависит от магнитных проницаемостей стали статора и ротора. На холостом ходу на намагничивание роторной поковки требуется от 75 до 90% общей н. с., необходимой для намагничивания стали статора и ротора. Поэтому характеристика намагничивания роторной поковки имеет существенное значение. Если бы эту характеристику удалось резко улучшить, открылась бы возможность применять большие индукции в зазоре. В том же направлении действует и большая н. с. холостого хода.

Благоприятным обстоятельством для этого является водородное охлаждение, особенно под повышенным давлением, когда линейная нагрузка ротора может быть значительно повышена.

Таким образом, при применении ротора большего диаметра водородного охлаждения машины, повышенного отношения короткого замыкания и повышенного номинального коэффициента мощности оказывается возможным и следует применять большие магнитные индукции в зазоре.

Применение более высоких индукций при водородном охлаждении целесообразно и потому, что реактивные сопротивления рассеяния обмоток ротора и статора, а также переходная реактивность турбогенератора, выполненного с опреде-

ленным отношением короткого замыкания, пропорциональны отношению $\frac{A_2}{B_2}$. Для того чтобы эти реактивности не оказались чрезмерно большими, необходимо, чтобы одновременно с применением более высоких линейных нагрузок применялись и более высокие индукции в зазоре. Индукции не могут быть увеличены пропорционально возрастанию линейных нагрузок и потому отношение $\frac{A_2}{B_2}$ при повышенных A_2 все же несколько больше.

Радиальные усилия между статором и ротором пропорциональны квадрату магнитной индукции в зазоре. При большом диаметре расточки статора механическая жесткость массива активной стали должна быть достаточна для того, чтобы избежать чрезмерной переменной деформации расточки и связанной с этим вибрации статора с двойной частотой [Л. 9].

У турбогенераторов с воздушным охлаждением магнитная индукция в зазоре на поверхности ротора с учетом обстоятельств, зависящих от выполнения машины в целом, приблизительно следующим образом связана с диаметром его D_2 , м:

$$B_2 \approx 6000 + D_2(2000 \pm 500) \text{ гс.} \quad (15)$$

В первом приближении можно считать, что при водородном охлаждении индукция может быть увеличена при давлении 0,03 ати на 6—10%, а при 2 ати на 8—12% по сравнению с индукциями при воздушном охлаждении.

Соотношения мощностей. Теперь вернемся к уже упоминавшемуся в качестве примера турбогенератору, имеющему активную длину 6 м и ротор диаметром 1 м. Рассмотрим на этом примере возможное общее повышение линейной нагрузки и магнитной индукции при переходе с воздушного на водородное охлаждение.

Если иметь в виду одно и то же среднее превышение температуры обмотки ротора в целом (табл. 2), то соотношение произведений $A_2 B_2$ при воздушном охлаждении с седлами на лобовых частях ротора, при водородном охлаждении без седел на лобовых частях и избыточном давлении 0,03 и при водородном охлаждении также без седел на лобовых частях и избыточном давлении две атмосферы приблизительно таково:

$$1,00:1,45:1,75. \quad (16)$$

Если же иметь в виду одно и то же превышение температуры независимо рассмотренной пазовой части обмотки ротора (табл. 1), то получается соотношение

$$1,00:1,30:1,50. \quad (17)$$

Это значит, что при одних и тех же размерах активной части, при одной и той же скорости вращения и одних и тех же $\sin \theta$ и $\cos \varphi$ мощность турбогенератора, выполненного с водородным охлаждением, больше мощности машины, выполненной с воздушным охлаждением и сед-

лами на лобовых частях ротора: при давлении водорода 0,03 *ати* — на 30—45%, при 2 *ати* — на 50—75%.

Организации, ведающие эксплуатацией электрических станций, и работники Министерства электростанций неоднократно высказывали [Л. 10] совершенно правильное мнение о том, что среднее превышение температуры обмотки ротора крупного турбогенератора, выпускаемого нашими заводами, должно быть понижено на 10—15° С. В связи с этим возможное повышение мощности, при выполнении машины с водородным охлаждением в габаритах выпускаемых в настоящее время машин с воздушным охлаждением, будет порядка меньшей из указанных выше величин.

В заключение подчеркнем еще раз, что для полного использования преимуществ водородного охлаждения недостаточно одного только перевода турбогенератора с воздушного на водородное охлаждение, необходимо конструктивно иное выполнение турбогенератора в целом. Для выяснения действительных значений коэффициентов теплоотдачи и действительных значений тепловых сопротивлений в условиях водорода следует произвести серию тепловых испытаний турбогенераторов с водородным охлаждением.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Средние соотношения, характеризующие выполнение ротора двухполюсного турбогенератора (диаметр ротора D_2 во всех случаях указан в метрах)

Число зубцовых делений ротора

$$N_2' = 8 + 40 D_2 \mp 2.$$

Отношение обмотанной части окружности к полной

$$\gamma = 0,75 \dots 0,78.$$

Число обмотанных пазов ротора

$$N_2 = 6,5 + 30 D_2 \mp 2, \text{ кратное } 4.$$

Размер зубцового деления ротора

$$t_2 = 46 + 20 D_2 \pm 3 \text{ мм.}$$

Глубина паза ротора h_{n2} :
при исполнении паза (')

$$h_{n2}(') = 0,17 D_2;$$

при исполнении паза (")

$$h_{n2}('') = 0,16 D_2.$$

Ширина паза ротора b_{n2} :
при исполнении паза (')

$$b_{n2}(') = 0,40 t_2;$$

при исполнении паза (")

$$b_{n2}('') = 0,45 t_2.$$

Ширина меди в пазу $b_m = b_{n2} - 4 \text{ мм.}$

Литература

1. Н. А. Поляк. Машинная постоянная турбогенератора. Электричество, № 3, 1945.
2. Н. А. Поляк. Основные размеры и электромагнитные характеристики турбогенераторов. Электричество, № 8, 1945.
3. Н. А. Поляк. Нормальные режимы работы турбогенераторов. Госэнергоиздат, 1948.
4. Г. Л. Вульман. К пересмотру основного стандарта на электрические машины. Электрические станции, № 5, 1949.
5. Е. Г. Комар. Турбогенераторы с водородным охлаждением. Госэнергоиздат, 1948.
6. Г. Л. Вульман. Некоторые вопросы эксплуатации турбогенераторов с водородным охлаждением. Электрические станции, № 10, 1949.
7. Vaporization Cooling of Large Electrical Machines, Discussion, Power Generation, September, 1949.
8. D. S. Snell and L. P. Grobel. Nine Years Operating Experience with Hydrogen-Cooled Generators, Power Plant Engineering, May—June, 1947.
9. Н. А. Поляк. Повреждения и неисправности паротурбинного генератора, связанные с работой всего турбогенератора. Госэнергоиздат, 1940.
10. И. А. Сыромятников. Повысить требования к электрическим машинам. Электрические станции, № 8, 1949.

[30. 9. 1950]



Основы теории схем выбега

Кандидат техн. наук, доц. В. Е. СКОБЕЛЕВ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Особенности автоматического управления реостатным тормозом и назначение схем выбега. Электрическое реостатное торможение благодаря своим техническим и экономическим преимуществам получает в электрической тяге большое распространение. Применение этого вида тормоза для мотор-вагонного подвижного состава с автоматической системой управления пуском, естественно, ставит вопрос об автоматизации процессов реостатного торможения.

При кажущемся сходстве основных задач автоматизации пуска и торможения, которые сводятся к автоматическому регулированию сопротивлений, автоматизировать торможение значительно труднее. Это объясняется следующими основными причинами: а) торможение может применяться как для целей нормальной или экстренной остановки поезда, так и для ограничения скорости его движения на уклоне; б) остановка поезда должна происходить в точно определенном месте; в) начальная скорость торможения изменяется в широких пределах; г) по условиям безопасности движения время приведения тормоза должно быть минимальным. Отсюда следует, что водитель поезда должен иметь возможность регулировать по своему усмотрению интенсивность торможения. С этой целью в системе автоматического управления, осуществляемой на принципе поддержания неизменным тока тяговых машин, необходимо предусматривать возможность простого изменения тока уставки реле торможения или схемы регулирования. Имеются описания такого рода реле и схем, и мы не будем останавливаться на их рассмотрении.

Основные затруднения возникают при автоматизации процессов в распространенных схемах торможения с машинами последовательного возбуждения и связаны с начальной фазой тормозного процесса — самовозбуждением машин. Необходимо, чтобы самовозбуждение происходило быстро и характеризовалось плавным нараста-

Рассматриваются основные вопросы автоматического управления режимом реостатного торможения. Устанавливаются необходимые условия, при соблюдении которых переход от выбега к торможению происходит без толчков тока и тормозного усилия. Исследуются режимы работы и дается метод расчета параметров специальных схем автоматического регулирования — схем выбега, имеющих своим назначением обеспечить регулирование величины включенной части тормозного реостата соответственно со скоростью поезда. Приводятся характеристики регулирования, получаемые в результате применения схем выбега. Отмечаются особенности исполнения и расчета параметров схем выбега применительно к реальным многомашинным схемам торможения.

нием тока и тормозного усилия.

Известно, что полное сопротивление тормозного реостата и отвечающее ему полное сопротивление тормозной цепи $R_{\text{ж}}$ выбираются таким образом, чтобы обеспечить получение заданного тормозного тока¹ I_a

при наивысшей начальной скорости торможения $v_{\text{ж}}$. При торможении со скоростью $v < v_{\text{ж}}$ тот же ток обеспечивается при сопротивлении цепи $R_0 = \frac{v}{v_{\text{ж}}} R_{\text{ж}} = cv$. В автоматической системе управления выведение избыточного сопротивления должно осуществляться автоматически: а) и.л. в период приведения тормоза в действие путем быстрого изменения сопротивления реостата до появления в цепи заданного тока I_a ; б) или предварительно, до начала торможения путем регулирования сопротивления реостата во время выбега поезда так, чтобы поддерживать $\frac{R_0}{v} = \text{const}$.

Первый способ связан с затратой времени на коммутацию реостата, что задерживает действие тормоза. Кроме того, имеется реальная опасность, что при медленном возбуждении машин к моменту достижения током заданного значения автоматика успеет вывести большее сопротивление, вследствие чего сопротивление цепи будет менее R_0 , что вызовет дальнейший рост тока и процесс установления тока будет характеризоваться появлением пика (рис. 1).

Это явление может особенно проявиться при низких скоростях движения поезда, когда скорость относительного изменения сопротивления цепи возрастает. Применение этого метода возможно только в случае, если обеспечено быстрое

¹ В автоматической селективной системе тормозной ток определяется минимальным током уставки регулятора торможения.

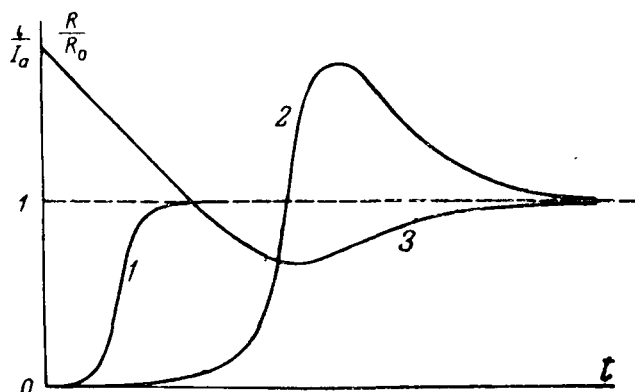


Рис. 1.

1—изменение тока в процессе самовозбуждения машины на не регулируемом сопротивлении R_0 ; 2—изменение тока в процессе самовозбуждения машины на регулируемом по току сопротивлении $R > R_0$; 3—изменение сопротивления тормозной цепи в процессе возбуждения машины при автоматическом регулировании тормозного реостата.

возбуждение машин или в случае малого изменения начальной скорости торможения.

Второй метод требует меньшего времени приведения тормоза в действие. Регулирование сопротивления реостата во время выбега поезда может быть построено на известном положении: если в схеме реостатного торможения автоматически поддерживать неизменный тормозной ток, то сопротивление цепи будет изменяться пропорционально скорости поезда. Схема выбега и представляет собой такого рода специальную схему реостатного торможения, в которой при приведенном сопротивлении цепи $\frac{R'}{v} \approx \frac{R_0}{v}$ (отвечающему току I_a в нормальной схеме торможения) имеет место небольшой ток I'_a , не вызывающий заметного тормозного эффекта и мало влияющий на движение поезда по инерции. Используя те же автоматические регуляторы реостата, которые служат для нормального торможения, но изменив ток уставки на I'_a , получим $I'_a = \text{const}$ и, следовательно, $\frac{R'}{v} \approx \text{const}$.

Переход от схемы выбега к схеме торможения желательно осуществлять без разрыва цепи тока. В этом случае самовозбуждение машин в схеме торможения начнется при $I > 0$, что значительно сокращает время установления тока в цепи и ускоряет действие тормоза. Если же на время самовозбуждения временно прекратить регулирование реостата, то опасность появления пика тока будет полностью устранена. Для этого возможно применить специальное реле, предотвращающее автоматическое регулирование реостата в нормальной схеме торможения до появления в ней тока I_p (ток уставки реле), несколько меньшего I_a .

Принципиальные схемы выбега. Схема выбега должна обеспечивать устойчивый генераторный режим работы тяговых машин при малых токах нагрузки I'_a и приведенном сопротивлении цепи

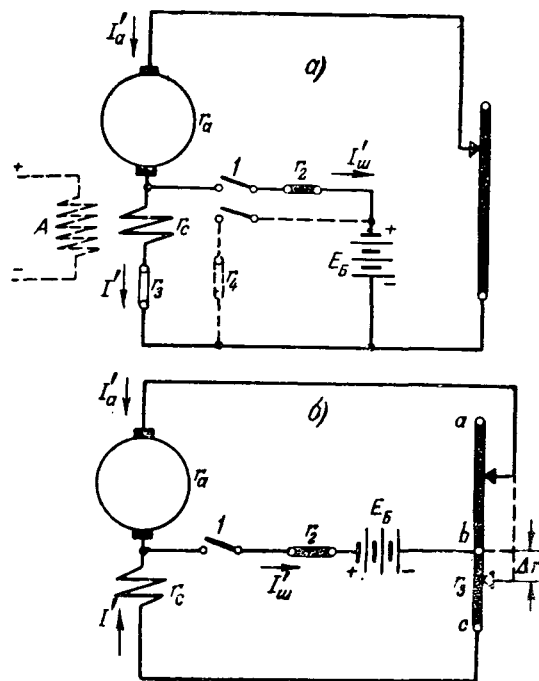


Рис. 2. Одномашина́ная схема выбега с нерегулируемым (а) и регулируемым (б) дополнительным сопротивлением.

$\frac{R'}{v}$, равном или близком к $\frac{R_0}{v} = c$. Различные токи нагрузки I_a и I'_a при примерно одинаковом сопротивлении цепи могут быть получены путем искусственного изменения характеристики машины $\frac{E}{v} = f(I_a)$ в режиме выбега, что для машины с последовательным возбуждением наиболее просто достигается путем шунтирования обмотки возбуждения обычным сопротивлением. Однако устойчивый режим при малом токе нагрузки может быть обеспечен лишь при повышенном значении начального поля машины (поля при $I_a = 0$), что возможно, например, достичь наложением на главные полюсы машины небольшой обмотки независимого возбуждения (обмотка А на рис. 2, а) или включением в магнитную систему машины прокладок из материала, обладающего большой коэрцитивной силой. Возможно также применение специальной стали для изготовления корпусов машин.

Повышение устойчивости режима в схеме выбега может быть также достигнуто введением э. д. с. E_b (рис. 2) в цепь шунта. В этом случае повышение начального поля вызывается действием тока I'_b , создаваемым батареей в контуре «обмотка — шунт».

Теоретически схема без батареи представляется частным случаем более общей схемы рис. 2 при $E_b = 0$, что позволяет нам ограничиться рассмотрением только этой схемы.

Исследование принципиальной одномашина́ной схемы выбега. Начальная часть кривой намагничивания I (рис. 3) имеет линейный характер и в функции тока

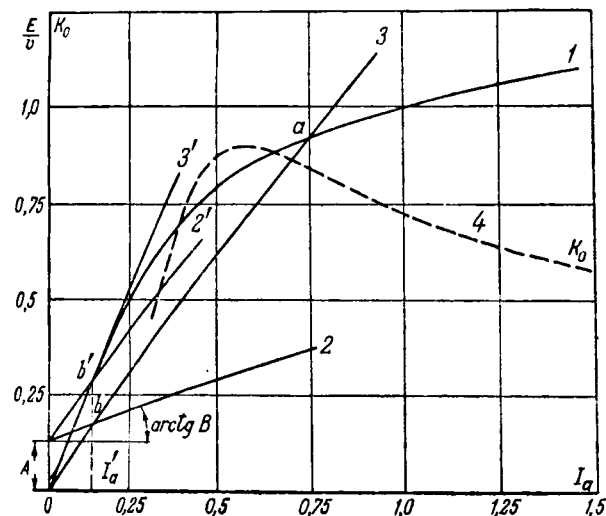


Рис. 3.

1— $\frac{E}{v} = f(I_a)$ при нормальном последовательном возбуждении (характеристика торможения); 2 и 2'— $\frac{E'}{v} = f(I_a)$ в схеме выбега (характеристика выбега); 3 и 3'— приведенное падение напряжения в тормозной цепи; 4—относительный критерий устойчивости $K_0 = f(I_a)$.

возбуждения может быть представлена уравнением

$$\frac{E}{\eta} = a + bI, \quad (1)$$

где a и b — постоянные, характеризующие магнитную цепь машины.

Обозначим сопротивление шунтируемой части цепи $r_1 = r_c + r_3$, сопротивление шунта (включая и батарею) r_2 , а всего контура $r = r_1 + r_2$. Тогда связь между токами возбуждения I' и якоря I_a в схеме выбега может быть представлена так:

$$I' = I'_E + \beta I'_a, \quad (2)$$

где

$$I'_B = \frac{E_B}{r} \text{ и } \beta = \frac{r_2}{r}.$$

При отсутствии влияния реакции якоря на величину главного поля характеристика 2 машины в режиме выбега (рис. 3) в области малых токов возбуждения представится прямой

$$\frac{E'}{v} = A + BI'_a, \quad (3)$$

где

$$A = a + bI'_E \text{ и } B = b\beta.$$

Если заданы параметры схемы r_1, r_2 и E_B , то возможно рассчитать коэффициенты A и B , а затем для данного значения приведенного сопротивления цепи $\frac{R'}{v}$ найти ток якоря машины в режиме выбега:

$$I'_a = \frac{A}{\frac{a}{R'} - B} \quad (4)$$

¹ Все величины, относящиеся к режиму выбега (контактор 1 замкнут, рис. 2), имеют индекс прим (') в отличие от величин в схеме нормального торможения (контактор 1 разомкнут).

4 Электричество, № 1.

Большой интерес, однако, представляет расчет параметров схемы, исходя из принятых значений I'_a , $\frac{R_0}{\sigma}$ (или I_d) и обеспечения заданной устойчивости режима выбега. Устойчивость можно характеризовать величиной угла, образуемого пересечением линии 3 (рис. 3) приведенного падения напряжения в сопротивлении цепи с характеристикой 2 машины. Поэтому выражение

$$K = \frac{R}{v} - \frac{d \frac{E}{v}}{dI_0}, \quad (5a)$$

определяющее этот угол, назовем абсолютным критерием устойчивости.

При малых токах в схеме выбега машина работает на линейной части кривой намагничивания, для ко-

торой согласно (3) имеем $\frac{d\frac{E'}{\psi}}{dI_a} = B$. Таким образом, для

режима выбега

$$K = \frac{R'}{n} - B. \quad (5)$$

Для выбора значений K можно воспользоваться его расчетными величинами, полученными из рассмотрения нормальных режимов в тормозных схемах, устойчивость которых проверена опытом. Удобно пользоваться относительным критерием устойчивости K_0 , получаемым из выражения (5а) подстановкой в него относительных значений входящих величин

$$K_0 = \frac{R}{R_n} - \frac{d \frac{E}{E_n}}{d \frac{I_a}{I_n}} \quad \text{при } v = v_n,$$

где I_n и E_n — соответственно номинальные значения тока нагрузки и э. д. с. данной машины, определяемой через ее номинальное напряжение U_n и полное сопротивление

$$r_{\partial} \text{ как } E_{\kappa} = U_{\kappa} - I_{\kappa} r_{\partial}, \text{ а } R_{\kappa} = \frac{E_{\kappa}}{I_{\kappa}}.$$

Связь между K и K_0 определяется выражением

$$K = mK_0,$$

В котором

$$m = \frac{U_H - I_H r_\partial}{I_H v_H}. \quad (6)$$

Расчет значений K_0 может быть произведен по процентной характеристике машины. Эти характеристики для различных машин отличаются незначительно, и зависимость $K_0 = f\left(\frac{I_a}{I_n}\right)$ (рис. 3) оказывается справедливой для целого класса тяговых двигателей.

Обычно реостатное торможение производится при токах $I_d = (0,4, \dots, 1,5) I_n$, причем режим торможения практически достаточно устойчив. Соответствующие этим токам значения $K_0 = 0,5, \dots, 0,9$ (рис. 3) и могут быть приняты при расчетах величины K .

Ток I_a возможно выбрать, исходя из допустимого отношения тормозных усилий в режиме выбега F' и в режиме торможения F . Усилие $F = \frac{E}{\eta} I_a$ и $\frac{E}{\eta} = \frac{R}{\eta} I_a$, откуда

$$I'_a = I_o \sqrt{\frac{F'}{F} \cdot \frac{R'v}{R'lv}}. \quad (7)$$

Приведенное сопротивление цепи в схеме выбега $\frac{R'}{\nu}$ желательно поддерживать таким, чтобы при переходе от вы-

бега к торможению приведенное сопротивление цепи в схеме торможения $\frac{R}{v}$ получалось равным или близким к значению $\frac{R_0}{v}$, обеспечивающему установление выбранного начального тормозного тока I_a без дополнительной коммутации тормозного сопротивления.

Рассмотрение схемы (рис. 2) позволяет установить, что выключение контактора 1 вызывает повышение сопротивления цепи на

$$\Delta R = r_1 \left(1 - \frac{I'}{I_a} \right) = \frac{r_1}{r} \left(r_1 - \frac{E_B}{I_a} \right) \quad (8)$$

и, следовательно,

$$\frac{R}{v} = \frac{R'}{v} + \frac{\Delta R}{v}. \quad (9)$$

Если сопротивление $r_1 = \text{const}$ и мало (например, при $r_1 = r_c$), то мало и ΔR , что позволяет пренебречь величиной $\frac{\Delta R}{v}$ при всех значениях скорости v , кроме самых низких, и в расчетах положить ³:

$$\frac{R'}{v} = \frac{R_0}{v} \text{ и } I'_a = I_a \sqrt{\frac{E'}{F}}.$$

Величина ΔR не зависит от скорости v и определяется только параметрами схемы, поэтому в общем случае условие $\frac{R}{v} = \frac{R_0}{v}$ может быть выполнено лишь для какого-либо одного значения v_1 скорости поезда. Для этой скорости следует принять приведенное сопротивление $\frac{R'}{v}$, автоматически поддерживаемое постоянным при $I'_a = \text{const}$, равным:

$$\frac{R'}{v_1} = \frac{R_0}{v} - \frac{\Delta R}{v_1} = c - \frac{\Delta R}{v_1}. \quad (9a)$$

Для всех скоростей поезда, превосходящих или меньших v_1 , будем соответственно иметь $\frac{R}{v} < c$ и $\frac{R}{v} > c$.

Когда значения K, I'_a и $\frac{R'}{v}$ выбраны, то в соответствии с (4) и (5) возможно определить коэффициенты⁴

$$A = KI'_a \text{ и } B = \frac{R'}{v} - K, \quad (10)$$

а затем на основании (2) и (3) для некоторой э. д. с. батареи E_B найти величины искомых сопротивлений

$$r = \left(\frac{b}{A-a} \right) E_B; \quad r_1 = \frac{b-B}{b} r \text{ и } r_2 = \frac{B}{b} r \quad (11)$$

или, если сопротивление r_1 задано, то найти необходимую э. д. с. батареи

$$E_B = \left(\frac{A-a}{b-B} \right) r_1. \quad (11a)$$

³ Значение $\frac{R_0}{v} = \frac{E}{v} : I_a$, причем $\frac{E}{v}$ определяется по характеристике машины для тока возбуждения $I = I_a$.

⁴ В случае $E_B = 0$ значение A определит величину необходимого остаточного поля машины, обеспечивающего заданную устойчивость режима выбега.

Выше предполагалось, что расчет схемы производится так, чтобы обеспечить требуемые значения I'_a и K при заданном $\frac{R_0}{v}$. В этом случае нельзя непосредственно воспользоваться формулой (9a) для расчета $\frac{R'}{v}$, так как ΔR в свою очередь есть ее функция, и необходимо выразить $\frac{R'}{v}$ через $K, I'_a, \frac{R_0}{v}$ и постоянные машины a и b .

Подставляя в выражение (8) значения r_1 и r из (11) и вводя обозначения

$$\left. \begin{aligned} M &= \left[\frac{(b+K)^2}{KI'_a - a} - \frac{b+K}{I'_a} \right] \frac{E_B}{bv} = M' \frac{E_B}{bv}, \\ N &= \left[\frac{2(b+K)}{KI'_a - a} - \frac{1}{I'_a} \right] \frac{E_B}{bv} = N' \frac{E_B}{bv}, \\ P &= \left[\frac{1}{KI'_a - a} \right] \frac{E_B}{bv} = P' \frac{E_B}{bv}, \end{aligned} \right\} \quad (12a)$$

найдем:

$$\frac{\Delta R}{v} = \frac{E_B}{bv} \left[M' - N' \left(\frac{R'}{v} \right) + P' \left(\frac{R'}{v} \right)^2 \right] \quad (12)$$

и согласно (9)

$$\frac{R}{v} = M + (1-N) \left(\frac{R'}{v} \right) + P \left(\frac{R'}{v} \right)^2. \quad (13)$$

Если $\frac{R}{v}$ выбирается равным $\frac{R_0}{v}$ при некоторой скорости v_1 , то для этого значения v_1 возможно рассчитать коэффициенты M, N и P и найти:

$$\frac{R'}{v} = -\frac{1-N}{2P} + \sqrt{\left(\frac{1-N}{2P} \right)^2 + \frac{\frac{R_0}{v} - M}{P}}. \quad (14)$$

Значения $\frac{R'}{v_1}$, рассчитанные по этой формуле, имеют физический смысл только в том случае, если они вещественны, положительны и численно более принятого значения K . Последнее следует из выражения (5) при учете того обстоятельства, что $B \geq 0$, так как сопротивление шунта r_2 не может быть отрицательным.

Однако повышение отношения $\frac{E_B}{v_1}$ увеличивает $\frac{\Delta R}{v_1}$ и тем самым ведет к снижению $\frac{R}{v_1}$, поэтому стремление

обеспечить $\frac{R}{v} = \frac{R_0}{v}$ кладет предел возможности выбора больших значений отношения $\frac{E_B}{v}$. Применение высоких E_B возможно в случае, если допустить $\frac{R}{v} > \frac{R_0}{v}$.

Помимо рассмотренного случая, когда $\frac{R}{v}$ равно или близко к $\frac{R_0}{v}$, возможен и другой режим. Из выражения

(8) следует, что если положить $r_1 = \frac{E_B}{I'_a}$, то получим

$\Delta R = 0$ и $\frac{R'}{v} = \frac{R}{v}$. Нетрудно видеть, что в этом случае

$I = I'_a$, т. е. в режиме выбега машина имеет нормальное последовательное возбуждение и ток в цепи шунта (батареи) равен нулю. Батарея здесь служит только для стабилизации режима выбега, обеспечивая его устойчивость при малых токах нагрузки машины, причем необходимое значение критерия устойчивости может быть обеспечено надлежащим выбором r_1 , r_2 и E_B . Характеристики торможения I , выбега I' и приведенного падения напряжения в схеме $3'$ пересекаются в одной точке b' (рис. 3).

Значение I'_a выбирается малым с целью снижения тормозного эффекта в период выбега поезда. Так как размыкание контактора I (рис. 2) не вызывает изменения тока в цепи, то последний может быть повышен до желаемой величины I_a только путем выведения части $(R' - R_0)$ тормозного сопротивления, что осуществляется под воздействием автоматики, ток уставки которой при переходе от выбега к торможению изменяется с I'_a на I_a . Это обстоятельство замедляет приведение тормоза в действие и, как отмечалось выше, может вызвать вход в тормозной режим с толчком тока. Однако благодаря регулированию тормозного сопротивления в процессе выбега поезда и более быстрому возбуждению машин подобного рода опасность здесь значительно ниже, чем при автоматическом торможении без применения схемы выбега. Все же этот способ регулирования уступает описанному ранее способу, в котором $\frac{R}{v} \approx \frac{R_0}{v}$.

Можно показать, что нормальное действие схемы не связано с потреблением энергии от батареи E_B . Действительно, при размыкании контактора I в цепи должен установиться ток I_a . Следовательно, сопротивление цепи

должно быть менее критического $\left(\frac{R}{v} < b\right)$. Однако из выражения (9) следует, что $\frac{R'}{v} < \frac{R}{v}$ и $\frac{R'}{v} < b$.

Принимая за положительные направления токов в схеме (рис. 2) направления, показанные стрелками, можем для тока в цепи шунта написать:

$$I_{ш} = I'_a - I' = I'_a \left(\frac{b - \frac{R'}{v}}{b} \right) + \frac{a}{b}. \quad (15)$$

Из этого выражения следует, что при $b > \frac{R'}{v}$ имеет место

$I_{ш} > 0$, т. е. в режиме выбега батарея заряжается. Возможно полностью или частично разгрузить батарею от тока зарядки, если одновременно с включением контактора I включать параллельно батарее сопротивление r_4 (пунктир на рис. 2, а).

Вследствие низкого сопротивления последовательной обмотки тяговых двигателей значения E_B , рассчитанные по формуле (11а) в предположении $r_1 = r_c$, столь малы (порядка долей вольта), что они не могут быть непосредственно получены от аккумуляторной батареи. Применение дополнительного сопротивления r_3 (рис. 2) возможно повысить $r_1 = r_c + r_3$ до значений, отвечающих выбранной величине э. д. с. E_B .

В рассматриваемой схеме r является нерегулируемым сопротивлением, поэтому его включение связано с повышением нижнего предела скорости, до которого возможно использование тормоза. Этот недочет устраняется, если в качестве дополнительного сопротивления использовать часть bc тормозного сопротивления (рис. 2, б), которая коммутируется при низких скоростях движения.

Нетрудно установить, что в этой схеме следует различать две фазы регулирования, соответственно отвечающие коммутации части ab и части bc реостата.

Обозначим скорость поезда, отвечающую точке b реостата, через v_b , сумму сопротивлений части bc реостата и обмотки возбуждения через $r_{10} = r_c + r_{bc}$ и сопротивление в цепи батареи (с учетом ее внутреннего сопротивления) через r_{20} . Если параметры схемы r_1 и r_2 рассчитаны, исходя из выбранных значений I'_a , $\frac{R'}{v}$ и K , то, определяя ΔR из выражения (8) и учитывая, что для точки b сопротивление тормозной цепи $R_b = r_a + r_{10}$ и $r_1 = r_{10}$, найдем:

$$r_{bc} = r_1 - r_c \text{ и } v_b = \frac{r_a + r_{10} - \Delta R}{\frac{R'}{v}}. \quad (16)$$

При $v > v_b$ коммутируется часть ab реостата. Параметры схемы выбега $r_1 = r_{10}$ и $r_2 = r_{20}$ при этом неизменны, что при автоматическом поддержании $I'_a = \text{const}$ обеспечивает, как было отмечено выше, сохранение $\frac{R'}{v} = \text{const}$. Следовательно, данная фаза регулирования ничем не отличается от рассмотренного ранее случая.

При $v < v_b$ коммутируется часть bc реостата. С уменьшением скорости поезда под действием автоматики, стремящейся сохранить $I'_a = \text{const}$, происходит перемещение подвижного контакта от точки b к точке c , что приводит к изменению параметров схемы выбега, вызывая уменьшение $r_1 = r_{10} - \Delta r$ и увеличение $r_2 = r_{20} + \Delta r$. Их сумма, однако, остается неизменной и равной $r = r_{10} + r_{20}$.

На основании выведенных соотношений можем установить, что при уменьшении скорости v данная фаза регулирования характеризуется следующими моментами: а) величина критерия устойчивости K остается неизменной, так как $A = \text{const}$ и $I'_a = \text{const}$; б) приведенное со-

противление цепи $\frac{R'}{v}$ возрастает, так как $K = \text{const}$, а величина $B \equiv r_2$; в) ΔR уменьшается. Последнее обстоятельство уменьшает влияние изменения скорости поезда на величину приведенного сопротивления тормозной цепи $\frac{R}{v}$.

Для расчета $\frac{R'}{v}$ и $\frac{R}{v}$, отвечающих некоторому значению скорости поезда v_1 , установим связь между r_1 и v_1 . Подставляя в (5) значение $K = \frac{A}{I'_a}$, $B = b \left(1 - \frac{r_1}{r}\right)$

и учитывая, что $R = r_a + r_1 \frac{I'}{I'_a}$, найдем из соотношения (2):

$$v_1 = \frac{r_a + Cr_1 - Dr_1^2}{F - Hr_1} \quad (17)$$

где при $I'_a = \text{const}$ коэффициенты сохраняют постоянные значения:

$$C = 1 + \frac{I_E}{I'_a}, \quad D = \frac{1}{r},$$

$$F = \frac{A}{I'_a} + b \text{ и } H = \frac{b}{r}.$$

Если задаться значениями $r_1 < r_{10}$ и определить из (17) скорость v_1 , можно затем найти приведенные сопротивления из выражений

$$\frac{R'}{v} = \frac{r_c + r_1 - \Delta R}{v_1} \text{ и } \frac{R}{v} = \frac{r_c + r_1}{v_1}. \quad (18)$$

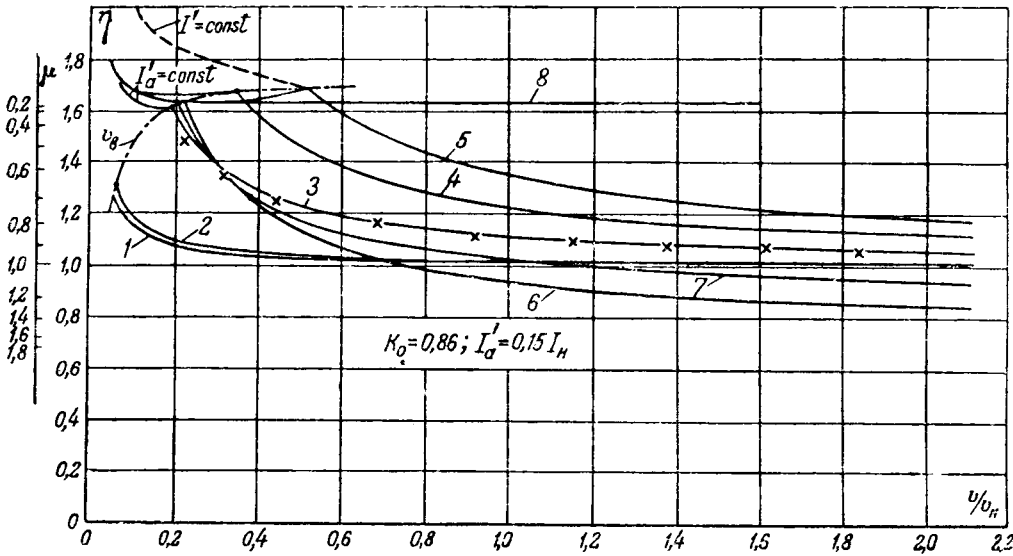


Рис. 4. Характеристика регулирования одномашиной схемы выбега $\eta = f(v)$ и $\mu = f(v)$ (те же кривые, но в масштабе μ) при различных значениях напряжения батареи E_B и отношения R'/R_0 . Расчетные значения η и μ , относящиеся к двухмашинной схеме выбега при $E_B = 12$ в и $R'/R_0 = 1.0$, обозначены крестиками

Кривые 1—8 построены соответственно для значений E_B , равных 0; 2; 12; 24; 36; 12; 12; 36 в, а для R'/R_0 , равного единице для кривых 1—5 и 0,75, 0,87 и 1,63 для кривых 6, 7 и 8 соответственно.

Если система построена так, чтобы сохранять неизменным ток возбуждения I' , то выражение $v_1 = f(r_1)$ для части bc реостата сохранит начертание формулы (17), однако выражения для постоянных коэффициентов изменятся и будут иметь вид:

$$C = \frac{I'}{I' - I'_B}; \quad D = \frac{I'}{(I' - I'_B)r};$$

$$F = \frac{A}{I' - I'_B} + b \quad \text{и} \quad H = \frac{bI' + a}{(I' - I'_B)r}. \quad (17a)$$

Расчеты показывают, что при прочих равных условиях в этом случае получаются значения $\frac{R}{v}$ более высокие, чем при поддержании $I'_a = \text{const}$, т. е. регулирование по току I' является менее предпочтительным (рис. 4).

Характеристики регулирования. Оценка качества регулирования, достигаемого применением схем выбега, может быть произведена путем сопоставления характеристики $\frac{R}{v} = f(v)$, отвечающей данной схеме, с характеристикой $\frac{R_0}{v} = \text{const}$, обеспечивающей получение выбранного значения начального тормозного тока I_a при торможении с различных скоростей движения.

Условимся отношение ординат этих характеристик, взятых при одной скорости, называть коэффициентом регулирования по сопротивлению и обозначать $\eta = \frac{R}{R_0}$, а зависимость $\eta = f(v)$ — коэффициентом регулирования от скорости — называть характеристикой регулирования по сопротивлению⁵.

По характеристике $\eta = f(v)$, пользуясь зависимостью $\frac{I_a}{I_n} = f\left(\frac{R}{R_n}\right)$, которая может быть рассчитана для данной машины, возможно получить отношение действительно получаемого значения начального тормозного тока к его выбранному значению I_a . Назовем это отношение коэффициентом регулирования по току и

обозначим μ , а зависимость $\mu = f(v)$ назовем характеристикой регулирования по току. Очевидно, что наилучшими будут те характеристики регулирования, для которых значения η (и, следовательно, μ) не зависят или зависят в малой степени от скорости и численно близки или равны единице.

Из изложенного выше следует, что можно различать два основных случая работы схемы выбега: а) параметры схемы r_1 , r_2 и E_B остаются неизменными; б) параметры схемы r_1 и r_2 изменяются вместе со скоростью поезда, но так, что $r_1 + r_2 = \text{const}$.

Первый случай относится к схеме рис. 2, а, а также к регулированию части ab реостата в схеме рис. 2, б. Отношение I'/I'_a здесь сохраняется постоянным и при прочих равных условиях на характеристиках регулирования не сказывается, будет ли автоматически поддерживаться неизменным ток якоря I'_a или ток возбуждения I' .

Значения $\frac{R'}{v}$ и ΔR не зависят от скорости поезда и постоянны, поэтому согласно (9) характеристики регулирования будут описываться уравнением

$$\eta = c_1 + \frac{c_2}{v},$$

в котором

$$c_1 = \frac{R'}{v} \frac{R_0}{v} \quad \text{и} \quad c_2 = \Delta R \frac{R_0}{v}.$$

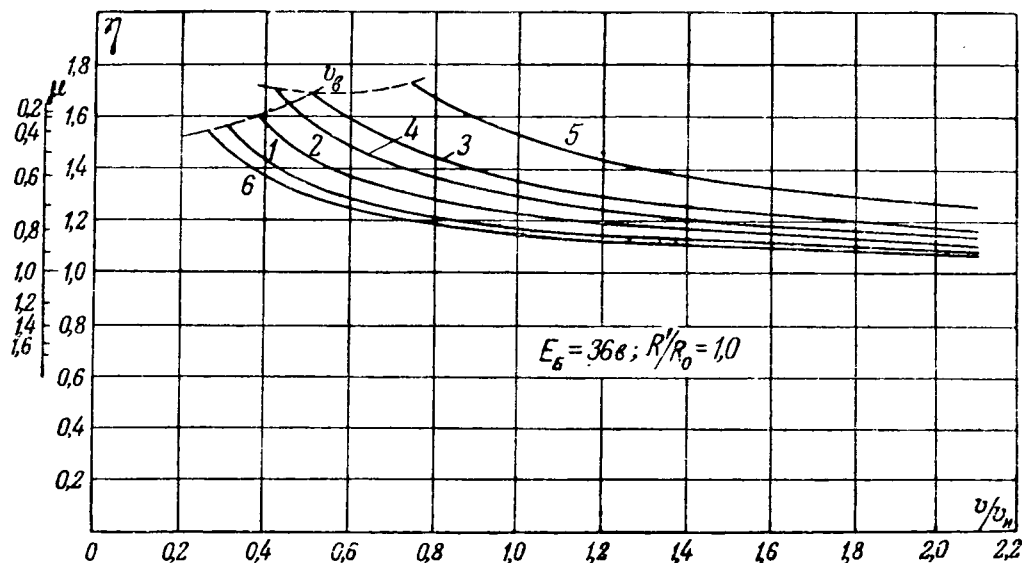
Нетрудно видеть, что уменьшение скорости поезда в этом случае вызывает прогрессивное возрастание η и снижение μ .

Второй случай имеет место при регулировании части bc реостата. Построение характеристики регулирования здесь производится на основании выражений (17) и (18), если поддерживается $I'_a = \text{const}$, и (17a), если сохраняется $I' = \text{const}$. Влияние изменения того или иного параметра схемы на характеристику регулирования возможно установить из рассмотрения уравнения зависимости $\eta = f(v)$. Однако, ввиду его сложности это исследование целесообразно провести на примерах численного расчета, которые нами и выполнены применительно к тяговому двигателю типа ПТ-35-а. Характеристики этого двигателя близки к универсальным, и возможно полученные результаты распространить на целый класс тяговых двигателей.

Влияние выбора величины напряжения батареи и приведенного сопротивления $\frac{R'}{v}$ иллюстрируются кривыми рис. 4. Здесь в расчетах было принято: $K_0 = 0.86$; $I_a = 0.75 I_n$

⁵ Значения сопротивлений R и R_0 можно также выражать в долях от сопротивления R_n , отвечающего номинальному току машины I_n .

Рис. 5. Характеристики регулирования одна-машинной схемы выбега $\eta = f(v)$ и $\mu = f(v)$ (те же кривые, но в масштабе μ) при различных значениях критерия устойчивости K_0 и отношения I'_a/I_n .



Кривые 1-3 построены для значения $K_0 = 0,16$, 4 и 6 — для $K_0 = 1,18$ и кривая 5 для $K_0 = 0,56$. Кривым 1, 6 соответствует $I'_a/I_n = 0,25$, кривой 2 — 0,20, кривым 3, 4, 5 — 0,15.

и $I'_a = 0,15I_n$, что связано с повышением сопротивления движению для данной оси в режиме выбега приблизительно на $1,8 \text{ кг/т}$. Основная часть каждой характеристики, лежащая правее точки пересечения с пунктирной линией v_b , относится к регулированию части ab реостата. а часть, лежащая левее, — к регулированию участка bc реостата.

Можно отметить, что повышение напряжения батарей неблагоприятно влияет на основную часть характеристики, вызывая повышение значений коэффициента регулирования η и скорости v_b .

Для $v < v_b$ регулирование по току $I'_a = \text{const}$ является более предпочтительным, чем по току $I' = \text{const}$ (пунктирная ветвь кривой 5 рис. 4). Однако в обоих случаях значения η здесь столь велики, что переход от выбега к торможению должен обязательно сопровождаться выведением сопротивления реостата, без чего машина не может самовозбудиться.

Расчет характеристик 6 и 7 произведен так [формула (14)], чтобы условие $\eta = 1$ соответственно удовлетворялось при скоростях $v_1 = 0,75v_n$ и $v_1 = 1,25v_n$. Сопоставление характеристик позволяет заключить, что выбор больших значений для v_1 в данном случае дает лучшие результаты. Необходимо лишь иметь в виду, что изменение

$\frac{R'}{v}$ возможно только в пределах

$$K \leq \frac{R'}{v} \leq \left[K + b \left(1 - \frac{r_c}{r} \right) \right].$$

Если принять $\frac{R'}{v} = b + \frac{a}{I'_a}$, то удовлетворится условие $r_1 = \frac{E_B}{I'_a}$, которое обеспечивает $\Delta R = 0$ [формула (8)].

Как уже отмечалось, в этом случае характеристика регулирования части ab реостата представляется прямой линией (характеристика 8 рис. 4), но значения η здесь таковы, что для перехода к торможению необходимо выведение части тормозного сопротивления.

Из рассмотрения характеристик регулирования (рис. 5) возможно также установить, что повышение K_0 и I'_a благоприятно влияет на величину коэффициента регулирования. Следует, однако, иметь в виду, что повышение K возможно только до предела $K = \frac{R'}{v}$ (чему отвечает $r_2 = 0$), а повышение I'_a связано с возрастанием сопротивления движению при выбеге.

Многomasинные схемы выбега. Современные моторные вагоны обычно оборудуются двумя или четырьмя тяговыми двигателями. Значительное распространение получают системы, в которых два двигателя постоянно включены последовательно и образуют одну группу машин. Такое включение упрощает схему, делая четырехмашинную схему подобной двухмашинной схеме. В этой связи возможно ограничиться рассмотрением только двухмашинных схем.

В двухмашинной схеме с уравнильным соединением (рис. 6,а) режим выбега может быть осуществлен при шунтировании одним шунтом обеих обмоток возбуждения машин. Расчет параметров схемы возможно провести по формулам и методике, разработанным для однамашинной схемы.

В схеме с перекрестным соединением обмоток (рис. 6,б) полная симметрия может быть достигнута, если каждая из обмоток возбуждения будет иметь свою шунтирующую цепь. Очевидно, что в этом случае расчет параметров также может быть проведен по вышеуказанной методике. Необходимо лишь в расчетных формулах принять для приведенных сопротивлений цепей в два раза большие значения, чем в двухмашинной схеме торможения. Недостатком подобной схемы является необходимость применения двойного комплекта батарей, шунтирующих r_2 , и дополнительных сопротивлений r_3 .

Перекрестная схема торможения обладает свойством выравнивать э. д. с. машин; существует поэтому возможность ограничиться шунтированием обмотки возбуждения только одной машины. В цепи другой машины при этом установится ток нагрузки I'_2 , близкий к току возбуждения I' первой машины. Для получения симметричной и простой схемы торможения дополнительное сопротивление r_3 предпочтительно включить в цепь общего тока. В данной схеме машины находятся в различных условиях и непосредственное пользование приведенными выше формулами здесь не является обоснованным.

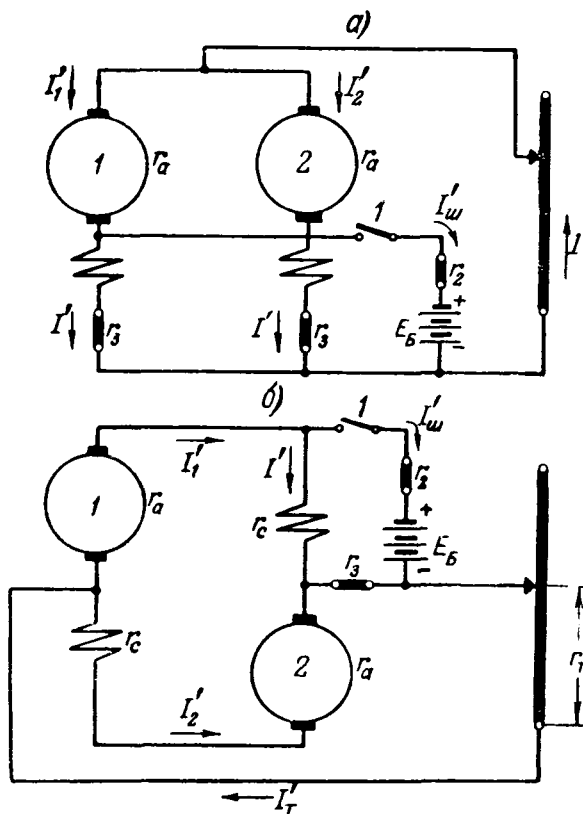


Рис. 6.

a—двухмашинная симметричная схема выбега при уравнительном соединении обмоток возбуждения машин; *б*—двухмашинная несимметричная схема выбега при перекрестном включении обмоток возбуждения машин.

Возникает необходимость проведения специального исследования.

Применяя обозначения, указанные в схеме рис. 6, *б*, и полагая машины идентичными⁶, возможно найти связь между токами в схеме, величиной включенной части тормозного сопротивления r_m и скоростью поезда v

$$I'_2 = \frac{Pv + Q}{P'v + Q'} = \frac{Nv - M - Sr_m}{N'v + M}, \quad (19)$$

где

$$P = b(E_B + I'_m r_2),$$

$$P' = b(r_c + 2r_2 + 2r_3),$$

$$Q = b(E_B + I'_m r_2) + a(r_c + r_2 + r_3),$$

$$N' = b(r_2 + r_3),$$

$$Q' = r_c(E_B + I'_m r_2) + I'_m r_a(r_c + r_2 + r_3),$$

$$M = r_c(r_2 + r_3) + (r_c + 2r_a)(r_c + r_2 + r_3),$$

$$N = r_3(E_B + I'_m r_2),$$

$$M' = (r_c + r_a)(r_c + r_2 + r_3) + r_3 r_c,$$

$$S = I'_m(r_c + r_2 + r_3).$$

Если автоматика регулирует сопротивление тормозного реостата так, чтобы ток выбега I'_m

⁶ Электродвижущие силы машин определяются так:

$$E'_1 = v(a + bI'_2) \quad \text{и} \quad E'_2 = v(a + bI'_1).$$

оставался неизменным, то все коэффициенты, входящие в (19), сохраняют постоянные значения.

Учитывая, что сопротивление цепи в схеме торможения (контактор 1 выключен) $R_m = r_m + r_3 + \frac{r_a + r_c}{2}$ и определяя r_m из (19), найдем зависимость приведенного сопротивления тормозной цепи от скорости:

$$\frac{R_m}{v} = \frac{c_1 + c_2 v + c_3 v^2}{v(c_4 + c_5 v)}, \quad (20)$$

где

$$c_1 = SQ'\Sigma r - (MQ' + QM'),$$

$$c_2 = SP'\Sigma r + NQ' - (MP' + QN' + PM'),$$

$$c_3 = NP' - PN',$$

$$c_4 = SQ',$$

$$c_5 = SP',$$

$$\Sigma r = r_3 + \frac{r_a + r_c}{2}.$$

Из рассмотрения уравнений (19) и (20) можно заключить, что при изменении скорости поезда изменяются также приведенное сопротивление и токи I'_2 , I' и I'_1 . Токи могут быть определены из выражений

$$I'_1 = I'_m - I'_2 \quad \text{и} \quad I' = \frac{E_B + I'_m r_2 - I'_2(r_2 + r_3)}{r_c + r_2 + r_3}. \quad (21)$$

Уравнения (19), (20) и (21) позволяют рассчитать токи и характеристики регулирования, если известны параметры схемы r_2 и r_3 и E_B , а также задано значение тока $I'_m = \text{const}$, поддерживаемое автоматикой.

Большой интерес представляет, однако, расчет параметров схемы, исходя из заданных значений I'_m , $\frac{R_m}{v}$, E и требования обеспечения требуемой устойчивости режима выбега, подобно тому, как это рассматривалось применительно к одномашинной схеме. Заметим, что машины имеют здесь различные нагрузки и э. д. с и представление об устойчивости режима в этом случае весьма усложняется.

Наиболее простое решение может быть получено, если исходить из обеспечения заданного режима при скорости $v \rightarrow \infty$. Нетрудно видеть, что этот случай во многом аналогичен рассмотренному ранее случаю, когда для одномашинной схемы мы полагали $\frac{R'}{v} = \frac{R_0}{v}$.

Из уравнения для э. д. с. и падений напряжений, имеющих место в контуре обмоток возбуждения и якорей машины, нетрудно видеть, что при $v \rightarrow \infty$ ток $I' \rightarrow I'_2$ и, следовательно, $E'_1 \rightarrow E'_2$. Это обстоятельство позволяет рассматривать вместо двух различных характеристик машин одну общую характеристику $\frac{E'}{v} = f(I'_m)$ и провести все дальнейшие рассуждения в полном соответствии с тем, как это имело место выше

Полагая $I' = I'_2$, можно написать уравнения:
 $I'_2(r_c + 2r_3) = E_B + (I'_1 - I'_2)r_2$ и $av + bvI'_2 -$
 $-(r_c + r_a + 2r_3)I'_2 - r_m I'_m = 0,$

совместное решение которых дает:

$$r_m I'_m = av + (bv - r_c - r_a - 2r_3) \frac{E_B + I'_m r_2}{r_c + 2(r_2 + r_3)}.$$

При рассматриваемых условиях $r_m I'_m \rightarrow E'$ и, следовательно, характеристика выбега может быть представлена уравнением

$$\frac{E'}{v} = C + DI'_m, \quad (22)$$

в котором коэффициенты

$$C = \frac{bE_B}{r_c + 2(r_2 + r_3)} + a; \quad D = \frac{br_2}{r_c + (r_2 + r_3)}.$$

Если задаться величиной тока в режиме выбега I'_m , критерием устойчивости двухмашинной схемы K_2 и приведенным сопротивлением цепи $\frac{R'_2}{v} = \frac{R_{20}}{v}$, отвечающим выбранному значению тока I'_m в схеме торможения, то по аналогии с выражением (3) можно написать:

$$C = I'_m K_2 \text{ и } D = \frac{R'_2}{v} - K_2, \quad (23)$$

откуда определяем параметры схемы при заданном напряжении батареи

$$r_2 = \frac{D}{C-a} E_B \text{ и } r_3 = \frac{b-2D}{2(C-a)} E_B - \frac{r_c}{2}. \quad (24)$$

Если между коэффициентами, токами и сопротивлениями одномашиной и двухмашинной схем установлены соотношения

$$I'_m = 2I'_a, \quad \frac{R'_2}{v} = 0,5 \frac{R'}{v}, \quad K_2 = 0,5K, \quad D = 0,5B$$

и $C = A$, то, как показывают расчеты, характеристики регулирования $\eta = f(v)$ для обеих схем практически совпадают. Некоторое и незначительное различие имеет место лишь при низких скоростях движения поезда.

Пример. Проведем параллельный расчет по одномашиной и двухмашинной схемам. Положим $E_B = 12$ в; $I'_a = 12$ а; $I_a = 60$ а; $K_0 = 0,86$ в одномашиной схеме и соответственно $I'_m = 24$ а и $I_m = 120$ а в двухмашинной схеме. Двигатели типа ПТ-35 а, для которых $a = 0,61 \frac{\text{в} \cdot \text{час}}{\text{км}}$, $b = 0,513 \text{ ом} \cdot \text{час/км}$, $r_c = 0,12$ и $r_a = 0,29 \text{ ом}$. По характеристике для тока $I_a = 60$ а находим скорость поезда $v_a = 25,4 \text{ км/час}$. Рассчитываем приведенные сопротивления:

$$\frac{R'}{v} = \frac{U_n - I_a r_d}{I_a v_a} = \frac{550 - 60 \cdot 0,41}{60 \cdot 25,4} = 0,345 \text{ ом} \cdot \text{час/км},$$

$$\frac{R_2}{v} = 0,5 \frac{R'}{v} = 0,1725 \text{ ом} \cdot \text{час/км}.$$

Определяем значения: $K = K_0 m = 0,86 \cdot 0,29 = 0,25$

$$K_2 = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125,$$

$$A = C = 3,0, \quad B = 0,095, \quad D = 0,0475.$$

Находим сопротивления в схемах (омы):

$$r_{10} = \frac{0,513 - 0,095}{3,00 - 0,61} \cdot 12 = 2,10;$$

$$r_{20} = \frac{0,095}{3,00 - 0,61} \cdot 12 = 0,48;$$

$$r_2 = \frac{0,475}{3,00 - 0,61} \cdot 12 = 0,238;$$

$$r_3 = \frac{0,513 - 2 \cdot 0,0475}{2(3,00 - 0,61)} - \frac{0,12}{2} = 0,99$$

$$\Delta R = \frac{2,10}{2,58} \left(2,10 - \frac{12}{12} \right) = 0,895.$$

Уравнения характеристик регулирования:

а) одномашиной схемы [уравнение (9)]

$$\frac{R}{v} = 0,35 + \frac{0,895}{v};$$

б) двухмашинной схемы [уравнение (20)]

$$\frac{R_m}{v} = \frac{14,05 + 24,44v + 7,37v^2}{(35,30 + 42,75v)v};$$

$$I'_2 = \frac{9,9v + 11,50}{1,322v + 1,09}; \quad I' = \frac{17,72 - 1,228I'_2}{1,348}.$$

Результаты расчета сведены в таблицу:

$v, \text{ км/час}$	5,0	7,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0
v/v_n	0,229	0,321	0,458	0,638	0,918	1,150	1,375	1,635	1,835
η_1	1,520	1,371	1,260	1,174	1,132	1,105	1,088	1,073	1,064
η_{11}	1,495	1,355	1,248	1,165	1,122	1,096	1,085	1,067	1,062
I'_2	7,33	—	7,16	—	7,02	—	6,97	—	6,95
I'	6,46	—	6,62	—	6,74	—	6,80	—	6,83

Соответствующие зависимости $\eta = f(v)$ представлены на рис. 4. Кривая 3 относится к одномашиной схеме, а расчетные точки по двухмашинной схеме обозначены на рисунке знаком X.

Аналогичным образом рассчитаны и другие характеристики, представленные на этом рисунке.

Дополнительные тормозные усилия, создаваемые машинами в режиме выбега, найдем из выражений (3), (7) и (22):

$$\frac{E'}{v} = 3,0 + 0,095 \cdot 12 = 4,14 \frac{\text{в} \cdot \text{час}}{\text{км}};$$

$$\frac{E'_m}{v} = 3,0 + 0,0475 \cdot 24 = 4,14 \frac{\text{в} \cdot \text{час}}{\text{км}}.$$

Дополнительное усилие (на один двигатель)

$$F' = F'_m = 660 \frac{12 \cdot 4,14}{82 \cdot 23,6} = 16,9 \text{ кг}.$$

При давлении на ось 9,5 т. что отвечает данному типу двигателя, дополнительное сопротивление движению составит в обоих случаях около 1,8 кг/т. Напомним, что оно имеет место только в период выбега поезда.

Заключение. 1. Применение схем выбега позволяет разрешить задачу предварительного автоматического регулирования сопротивления тормозной цепи в соответствии со скоростью поезда в период выбега.

2. Переход от режима выбега к режиму торможения совершается без разрыва цепи тока, путем простейшей коммутации. На время самовозбуждения машин автоматическое регулирование реостата может быть прекращено и вновь возобновлено при достижении тормозным током заданной величины. Этим устраняется возможность входа в режим торможения с толчком тока.

3. Применение схем выбега сокращает время приведения тормоза в действие, так как не требуется выведения излишнего сопротивления и самовозбуждение начинается с значения тока $I'_m > 0$.

4. Характеристики регулирования улучшаются при понижении напряжения батареи. Наилучшие характеристики имеют место при $E_B = 0$, при этом получается и наиболее простая схема. Однако надлежащая устойчивость режима выбега может здесь быть обеспечена лишь путем повышения начального (остаточного) поля в машинах.

5. В многомашинных схемах торможения режим выбега может быть достигнут изменением возбуждения только одной машины (или одной группы последовательно включенных машин). Получающаяся при этом несимметрия токов в режиме выбега не вносит заметного различия в характеристики регулирования

Обозначения

- R — полное сопротивление тормозной цепи в схеме торможения;
- R_0 — полное сопротивление тормозной цепи, обеспечивающее тормозной ток I_a при скорости поезда v ;
- R' — полное сопротивление тормозной цепи в схеме выбега;
- R_{κ} — максимальное сопротивление тормозной цепи, отвечающее полностью введенному тормозному реостату;
- R_{κ} — полное сопротивление тормозной цепи, обеспечивающее получение в цепи минимального тока машины I_{κ} при номинальной скорости v_{κ} ;
- r_1 — сопротивление шунтируемой части цепи;
- r_2 — сопротивление цепи шунта (включая батарею)

- r_c — сопротивление обмотки возбуждения машины;
- r_a — сопротивление обмотки якоря машины;
- r_3 — дополнительное сопротивление;
- r_a — сопротивление контура „обмотка — шунт“;
- r_m — сопротивление тормозного реостата в двухмашинной схеме;

ΔR — изменение сопротивления цепи при переходе от выбега к торможению;

I_a — ток нагрузки (якоря) в одномашинной схеме торможения;

I'_a — ток нагрузки (якоря) машины в одномашинной схеме выбега;

I'_1 и I'_2 — то же, в двухмашинной схеме выбега;

I' — ток возбуждения машины в схеме выбега;

I — ток возбуждения машины в схеме торможения;

I_p — ток уставки реле автоматизации;

I'_m — полный тормозной ток в двухмашинной схеме выбега;

$I_{ш}$ — ток в цепи шунта в схеме выбега;

I'_B — ток, создаваемый батареей в контуре „обмотка — шунт“;

I_{κ} — номинальный ток тягового двигателя;

E' — э. д. с. машины в схеме выбега;

E'_1 и E'_2 — то же, в двухмашинной схеме;

E — э. д. с. машин в схеме торможения;

E_B — э. д. с. батареи;

E_{κ} — э. д. с. тягового двигателя при номинальном токе нагрузки и номинальной скорости движения;

U_{κ} — номинальное напряжение тягового двигателя;

v — скорость поезда;

v_b — скорость поезда при торможении током I_a и положении подвижного контакта реостата в точке b (рис. 2,б);

v_{κ} — номинальная скорость поезда, отвечающая току I_{κ} и напряжению U_{κ} ;

v_{κ} — наивысшая начальная скорость торможения;

a — машинная постоянная, характеризующая остаточное поле машины;

b — машинная постоянная, характеризующая наклон начальной части кривой намагничивания машины;

F — тормозное усилие, создаваемое машиной в режиме торможения;

F' — то же в режиме выбега;

K — абсолютный критерий устойчивости одномашинной схемы;

K_0 — относительный критерий устойчивости;

K_2 — абсолютный критерий устойчивости в двухмашинной схеме;

η — коэффициент регулирования по сопротивлению

μ — коэффициент регулирования по току;

r_0 — полное сопротивление тягового двигателя;

r_{bc} — сопротивление части bc тормозного реостата;

i — мгновенное значение тормозного тока.

[18.6.1950]



Инженерные методы расчета режимов и определения параметров электрометаллургических печей с несимметричным подводом тока

Кандидат техн. наук Ю. Е. ЕФРОЙМОВИЧ

Центральная лаборатория автоматики ММП

Дуговые сталеплавильные и руднотермические печи — крупнейшие потребители электроэнергии в стране. Рациональное использование энергии в этих агрегатах является важной, но вместе с тем сложной технической проблемой.

Электрометаллургические печи работают при низких вторичных напряжениях трансформаторов, как правило, не превышающих 250—300 в, и потребляют токи до 40 и более тысяч ампер. Из конструктивных соображений шинопроводы трех фаз имеют различную длину и на отдельных участках расположены в одной плоскости. Поэтому электрическая трехфазная подводящая сеть имеет различные активные и индуктивные сопротивления шинопроводов по фазам. Взаимоиндуктивности фаз также различны.

Важнейшая для работы промышленных печей задача, которая сравнительно давно привлекла к себе внимание и до последнего времени не нашла инженерного решения, связана с экспериментальным определением параметров и методикой расчета нагрузочных характеристик трехфазных дуговых печей с несимметричной подводящей сетью и различной нагрузкой по фазам.

Еще в 1931 г. В. И. Воробьев и П. Л. Калантаров [Л. 1], успешно применяя метод симметричных составляющих, вывели основные уравнения печи. Однако они оперировали индуктивностями и взаимоиндуктивностями фаз, экспериментальное определение которых представляет значительные трудности. Они показали необходимую асимметрию напряжений трансформатора и возможность применения добавочных дросселей на низкой и высокой стороне трансформатора для получения равных токов и напряжений на дугах

Для трехфазных дуговых печей с неравными активными сопротивлениями, индуктивностями и взаимными индуктивностями фаз приводится инженерная методика определения параметров расчетной схемы из четырех опытов короткого замыкания, а также определения напряжения и мощности дуги в каждой фазе печи по результатам измерений, производимых с помощью приборов, установленных с высокой стороны трансформатора. Простая расчетная схема позволяет определить режим работы для каждой фазы печи при заданных неравных токах или напряжениях трех дуг и заданных равных по фазам активных сопротивлений и коэффициентов мощности. Приведены примеры расчета режима для мощной руднотермической и исследованной промышленной сталеплавильной печи и показаны преимущества работы при несимметричных токах нагрузки по фазам.

крайних фаз. Анализ данных для случая равных активных сопротивлений и индуктивностей во всех фазах печи М. А. Ченцов [Л. 2], пользуясь тем же методом симметричных составляющих, но оперируя, так же как и М. И. Левин, понятиями однофазных петель, значения которых могут быть определены экспериментально, привел общие уравнения печи.

В анализе режима симметричных токов, устанавливая необходимую степень несимметрии напряжений для получения равных мощностей на дугах, он в общем виде намечает решение задачи о максимуме полезной мощности. Для определения параметров печей М. А. Ченцов предложил метод измерения однофазных падений напряжения в «короткой сети» и измерение мощностей в начале и в конце «короткой сети». При анализе и постановке опыта автор полагал равными индуктивности малых петель и активные сопротивления подводящей сети в трех фазах.

С. И. Тельный [Л. 3] предлагает определять путем построений параметры и режим печей для случая равных токов нагрузки при нормальном режиме работы. Построение производится на основе измерения напряжения на дугах, напряжения между нулевыми точками трансформатора и печи, линейного напряжения трансформатора и некоторых других величин.

Следует упомянуть работы И. Вочке [Л. 7]. Предлагаемые им экспериментальные методы определения параметров печи достаточно трудоемки, требуют высокой квалификации экспериментаторов и могут привести к значительным погрешностям, которые будут проанализированы ниже.

В данной работе приводится методика определения параметров печи с несимметричным токоподводом из 4 опытов короткого замыкания, при которой измерения производятся по приборам, установленным на *высоковольтной стороне трансформатора*. Простота этих измерений позволяет их выполнить средствами и силами завода. Трехфазная дуговая печь с несимметричным токоподводом и неравными взаимными индуктивностями между фазами может быть приведена к простой расчетной схеме, состоящей из *трех включенных в звезду пассивных сопротивлений*. В связи с этим облегчается анализ режима работы печей и создается возможность *по приборам высокой стороны судить о величине напряжения и мощности дуги в каждой фазе*. Это обстоятельство имеет существенное значение для сталеплавильных печей *к.*, особенно, для мощных руднотермических печей, у которых дуги недоступны для наблюдения и измерения.

Описываемая методика определения параметров и расчета электрического режима работы установок проверена и внедрена на ряде промышленных печей.

В работе приняты следующие допущения: не учитывается нелинейность, вносимая дуговым разрядом¹, и наличие стальных масс в контурах, образуемых шинопроводом. Не учитывается также ток намагничивания трансформатора.

Расчетная схема печи с несимметричным подводом тока. В схеме замещения для общего случая трехфазной несимметричной печи (рис. 1, а) r_p , L_{ip} , E_i — активное сопротивление, индуктивность и напряжение между концом электрода и нулем печи в любой из фаз, M_{ik} — взаимная индуктивность шинопроводов двух соответствующих фаз.

При отсутствии нулевого провода $i_3 = -i_1 - i_2$. Напряжения обхода будут:

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= i_1(r_1 + \rho_1) - i_2(r_2 + \rho_2) + \\ &+ \frac{di_1}{dt}(L_{11} - M_{13} - M_{21} + M_{23}) - \\ &- \frac{di_2}{dt}(L_{22} - M_{12} + M_{13} - M_{23}), \\ u_{BC} &= i_1(r_3 + \rho_3) + i_2(r_2 + \rho_2 + r_3 + \rho_3) + \\ &+ \frac{di_1}{dt}(L_{33} - M_{31} + M_{21} - M_{23}) + \\ &+ \frac{di_2}{dt}(L_{22} + L_{33} - 2M_{23}), \\ u_{CA} &= i_1(r_1 + \rho_1 + r_3 + \rho_3) + i_2(r_3 + \rho_3) + \\ &+ \frac{di_1}{dt}(L_{11} + L_{33} - 2M_{13}) + \\ &+ \frac{di_2}{dt}(L_{33} - M_{13} + M_{12} - M_{32}). \end{aligned} \right\} (1)$$

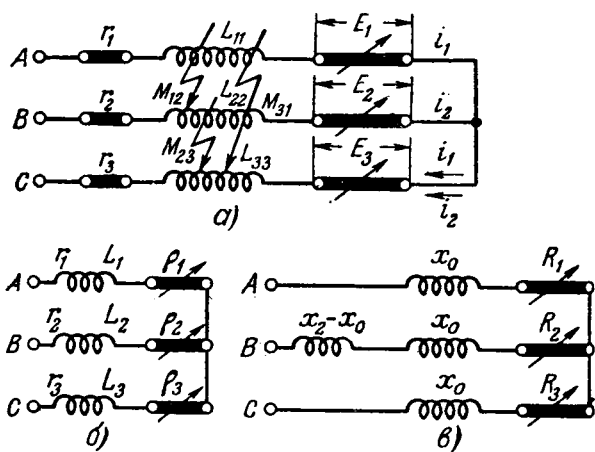


Рис. 1.

Обозначим:

$$\left. \begin{aligned} L_{11} - M_{31} + M_{23} - M_{12} &= L_1, \\ L_{22} - M_{12} + M_{31} - M_{23} &= L_2, \\ L_{33} - M_{23} + M_{12} - M_{31} &= L_3, \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} L_{11} + L_{33} - 2M_{31} &= L_{31}, \\ L_{22} + L_{33} - 2M_{23} &= L_{23}, \\ L_{11} + L_{22} - 2M_{12} &= L_{12}. \end{aligned} \right\} (3)$$

Уравнения (3) определяют индуктивности однофазных петель. Правые части (2) и (3) связаны следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} L_1 + L_2 &= L_{12}, \\ L_2 + L_3 &= L_{23}, \\ L_3 + L_1 &= L_{31}, \\ 0,5(L_{12} - L_{23} + L_{31}) &= L_1, \\ 0,5(L_{23} - L_{31} + L_{12}) &= L_2, \\ 0,5(L_{31} - L_{12} + L_{23}) &= L_3. \end{aligned} \right\} (4)$$

С учетом (2-5) уравнение (1) можно теперь написать так:

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= (R_1 + L_1 \frac{d}{dt}) i_1 - (R_2 + L_2 \frac{d}{dt}) i_2, \\ u_{BC} &= (R_2 + L_2 \frac{d}{dt}) i_2 - (R_3 + L_3 \frac{d}{dt}) i_3, \\ -u_{CA} &= (R_1 + L_1 \frac{d}{dt}) i_1 - (R_3 + L_3 \frac{d}{dt}) i_3. \end{aligned} \right\} (1')$$

Третье уравнение — следствие двух других. Здесь $r_i + \rho_i = R_i$.

Системе (1') соответствует эквивалентная трехлучевая схема рис. 1, б (см. также [Л. 5]).

¹ Ошибки, обусловленные нелинейностью дуги для случая печи с симметричной подводящей сетью проанализированы в работах С. И. Тельного и автора [Л. 4, 6].

Таким образом, в самом общем случае трехфазной цепи с магнитными связями между фазами, даже при несинусоидальных токах, соответствует весьма простая расчетная схема. При заданных r_i , p_i , L_i и U_i схема позволяет определить токи, потери и полезную мощность по фазам, а также определить суммарную реактивную и кажущуюся мощности реальной печи.

Подавляющее большинство печей конструируется симметрично относительно среднего шинпровода. Если симметрия магнитных потоков достаточно хорошо соблюдена, то в этом случае

$$\left. \begin{aligned} L_{11} &= L_{33}, \\ M_{12} &= M_{23}, \\ L_{13} &= L_{21}, \\ L_1 &= L_3 = 0,5L_{31} = L_0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В случае магнитной осевой симметрии и синусоидальных токов и напряжений в системе расчетная схема приводится к схеме в рис. 1. В схеме $x_2 - x_0 = \omega(L_2 - L_0)$. Обычно $L_0 > L_2$ и реактивное сопротивление во второй фазе меньше на величину

$$\begin{aligned} x_0 - x_2 &= \omega(L_{31} - L_{12}) = \\ &= \omega[L_{11} - L_{22} + 2(M_{12} - M_{31})] = \Delta x. \end{aligned} \quad (7)$$

Величина $\frac{\Delta x}{x_0}$ является мерой несимметрии установки.

Смещение нулевой точки печи

$$u'_0 = -\frac{1}{3} \left[\sum_{i=1,2,3} i_i R_i + \frac{di_1}{dt} (L_{11} + L_{33} + M_{12} - M_{23}) + \frac{di_2}{dt} (L_{22} - L_{33} + M_{12} - M_{31}) \right]. \quad (8)$$

Для расчетной схемы б напряжение нулевой точки относительно нуля генератора

$$u''_0 = -\frac{1}{3} \left[\sum_{i=1,2,3} i_i R_i + \frac{di_1}{dt} (L_1 - L_3) + \frac{di_2}{dt} (L_2 - L_3) \right]. \quad (9)$$

С учетом (2) и (3)

$$\begin{aligned} u''_0 - u'_0 &= (M_{12} - M_{23}) \frac{di_1}{dt} + \\ &+ (M_{12} - M_{31}) \frac{di_2}{dt}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для печи с магнитной осевой симметрией

$$u''_0 - u'_0 = (M_{12} - M_{31}) \frac{di_2}{dt}. \quad (10')$$

Напряжение между нулевыми точками реальной печи и рассматриваемой расчетной схемы

целиком определяется различием взаимоиндуктивностей фаз. Для печей с осевой симметрией, если соблюдается дополнительное условие $L_{11} = L_{22}$, напряжение между нулевыми точками

$$\dot{U}_0'' - \dot{U}_0' = j0,5\Delta x I_2. \quad (10'')$$

На рис. 2 приведена векторная диаграмма для общего случая трехфазной печи при условии синусоидальности токов, которая поясняет соотношения, даваемые реальной и расчетной схемой. O' и O'' — соответственно нулевые точки печи и расчетной схемы.

Падения напряжения на активных сопротивлениях r_i и p_i в каждой фазе печи измеряются отрезками $A''A \equiv I_1 R_1$, $B''B \equiv I_2 R_2$, $C''C \equiv I_3 R_3$. Восстановленные из точек A'' , B'' и C'' перпендикуляры пересекаются в одной точке O'' — в нулевой точке расчетной схемы. Отрезки $O''A''$, $O''B''$ и $O''C''$ позволяют определить фазные реактивные сопротивления расчетной схемы.

Реальные фазные напряжения печи измеряются отрезками $O'A$, $O'B$, $O'C$. Проекция их на соответствующие токи, определяющие активные составляющие фазных напряжений реальной печи U_{ai} , отличаются от падений напряжения $I_i R_i$ отрезками $A''A'$, $B''B'$ и $C''C'$ в масштабе напряжения, равных:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{a1} &= U'_{a1} - I_1 R_1 = \\ &= \omega(M_{12} - M_{13}) I_2 \cos\left(\delta_{12} + \frac{\pi}{2}\right), \\ \Delta U_{a2} &= U'_{a2} - I_2 R_2 = \\ &= \omega(M_{12} - M_{23}) I_1 \cos\left(\delta_{21} + \frac{\pi}{2}\right), \\ \Delta U_{a3} &= U'_{a3} - I_3 R_3 = \\ &= \omega(M_{12} - M_{23}) I_1 \cos\left(\delta_{31} + \frac{\pi}{2}\right) + \\ &+ \omega(M_{12} - M_{31}) I_2 \cos\left(\delta_{32} + \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

δ_{ik} — угол между токами в фазе i и k .

Индекс i указывает на базовый вектор, k — на вектор, относительная фаза которого определяется.

Чем обусловлена разница между фазной мощностью установки, определенной относительно нулевой точки печи O' , и реально выделяемой в каждой фазе активной мощностью? Очевидно, что разность вызвана различием в средней за период величине энергии, переносимой электромагнитным полем с одной фазы на две другие, и энергией, которая возвращается с двух других фаз на эту фазу.

При выбранном направлении вращения векторов, когда $M_{12} > M_{23}$, энергия из фазы 1 переносится на фазы 2 и 3. При $M_{12} < M_{23}$ энергия из фаз 1 и 2 переносится на фазу 3.

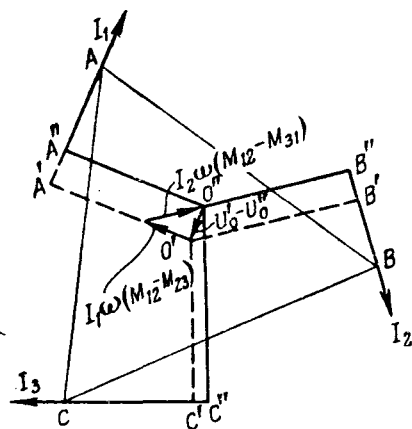


Рис. 2.

При $M_{12} = M_{23}$ средняя величина электромагнитной энергии, получаемая фазой 2, равна нулю, а энергия, передаваемая на фазу 3, равна переносимой с фазы 1.

При

$$I_1 = I_2 = I_3 \text{ и } L_{11} = L_{22},$$

$$\Delta P = \frac{\sqrt{3}}{2} I_2^2 \omega (M_{12} - M_{31}) = \frac{\sqrt{3}}{4} I_2^2 \Delta x.$$

Расчетная схема дает правильный ответ относительно величины суммарной реактивной мощности, потребляемой системой.

Вочке [Л. 7] допускает ошибку, полагая, что в печи с осевой симметрией при равных токах различие активных мощностей крайних фаз 1 и 3 целиком определяется величиной электромагнитного переноса мощности².

Различная величина фазных напряжений между нулем печи и выводами генератора обусловлена смещением нулевой точки печи O' и влечет за собой неравенство отрезков $A'A$ и $C'C$.

Сложность выбранного Вочке метода анализа не позволила ему до конца правильно разобраться в картине переноса мощности.

Анализ эквивалентной и расчетной схемы дает более наглядную физическую картину, а простые цепи, определяемые расчетной схемой, позволяют успешно использовать достаточно хорошо разработанный математический аппарат для трехфазных цепей с несимметричными параметрами.

Регулирование мощности и методика расчета несимметричных режимов. Регулирование мощности в дуговых печах может производиться, исходя из заданных по фазам величин тока, напряжений на дугах или мощностей. В данной работе ставится задача разработки методов расчета для получения заданного режима и построения нагрузочных характеристик печи.

Методика анализа базируется на том, что вне зависимости от напряжений сети, значений E_i и ρ_p влияние подводящей сети при заданных токах целиком характеризуется треугольником напряжений короткого замыкания. Со-

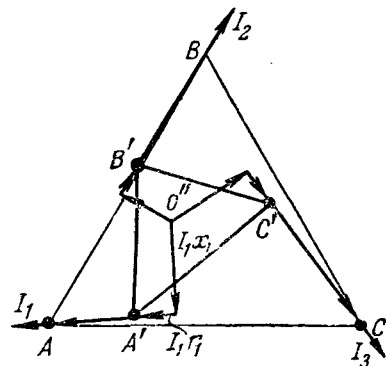


Рис. 3.

гласно общепринятой терминологии треугольник напряжений короткого замыкания характеризует напряжения сети при $\rho_1 = \rho_2 = \rho_3 = 0$, необходимые для получения заданных токов (в общем случае не равных номинальным).

По параметрам треугольника напряжений короткого замыкания и сети можно определить напряжения на дугах.

Если токи, а следовательно, и треугольник короткого замыкания неизменны, то изменения напряжений сети сказываются только на значениях напряжений на дугах. Треугольник короткого замыкания в общем случае определяется шестью параметрами расчетной схемы $r_1, r_2, r_3, x_1, x_2, x_3$. В случае магнитной осевой симметрии — пятью параметрами, если, кроме того, $r_1 = r_3$, то четыре параметра целиком определяют влияние низковольтного шинпровода, сопротивлений печного трансформатора и дросселя на режим работы печи.

Режимы при заданных токах печи. Весьма часто режим печей задается, исходя из равенства токов печи по фазам, при изменении значений токов в весьма широких пределах. В большинстве случаев такое регулирование является технически несовершенным, так как при этом напряжения и мощности на различных дугах весьма различны. Одно из возможных практических решений заключается в том, что, исходя из допустимой неравномерности нагрузки сети по фазам, задаются токами в различных фазах печи.

Во всех этих случаях заданы токи печи, необходимо рассчитать напряжения на дугах, мощности, к. п. д. и $\cos \varphi$ установки. Опуская аналитический метод определения E_i по заданным I_i , приводим графоаналитический метод решения задачи.

В общем случае, когда заданы абсолютные значения или отношения токов в различных фазах, легко можно построить звезду токов трех фаз и по (1') треугольник короткого замыкания $A'B'C'$ (рис. 3).

Вектор напряжения на дуге в каждой фазе совпадает с током и потому может быть отложен из точек A', B', C' по направлению I_1, I_2, I_3 . Остается определить эти напряжения.

Очевидно, каждая вершина заданного треугольника напряжений сети должна совпадать с концом вектора напряжения на дуге соответ-

² На эту ошибку указал М. А. Ченцов.

ствующей фазы. Поэтому, если нанести треугольник напряжения сети на рис. 3 так, чтобы вершины его одновременно лежали на трех линиях напряжений дуг, то получающиеся отрезки $A'A$, $B'B$ и $C'C$ однозначно определяют напряжения на трех дугах.

Допустим далее, что требуется решить задачу о влиянии изменения напряжения сети на режим печи. Токи поддерживаются неизменными. В этом случае достаточно на однажды построенный треугольник короткого замыкания и нанесенные линии напряжений дуг поочередно накладывать заданные различные треугольники напряжений сети, построенные в заданном масштабе напряжений. Для каждого напряжения сети определяются три соответствующих напряжения на дугах.

Все предварительные построения целесообразно нанести на лист плотной бумаги, а треугольники напряжений сети — на кальку, накладывая и поочередно совмещая их с основным графиком [Л. 3].

Если напряжение сети полагается неизменным, а токи заданы их отношением, то для построения нагрузочных характеристик печи достаточно ограничиться построением одного треугольника короткого замыкания, а на кальку нанести ряд вписанных друг в друга подобных треугольников напряжений сети.

Совмещая поочередно с линиями напряжений на дугах каждый из треугольников напряжений сети и зная масштаб для данного треугольника напряжений сети, находят из графика измеренные в том же масштабе напряжения на дугах и напряжения треугольника короткого замыкания, после чего можно определить величины соответствующих токов.

Определяя тем или иным путем E_p , находим:

$$\left. \begin{aligned} P_{no.1} &= \sum_{i=1,2,3} E_i I_p, & P_r &= \sum_{i=1,2,3} I_i^2 x_p \\ P_{nom} &= \sum_{i=1,2,3} I_i^2 r_p, & P &= \sqrt{P_a^2 + P_r^2} \\ P_a &= P_{no.1} + P_{nom}, \\ \cos \varphi &= \frac{P_a}{P}, & \eta &= \frac{P_{no.1}}{P}. \end{aligned} \right\} (12)$$

Построение (рис. 3) позволяет определить требуемую несимметрию напряжений сети для того, чтобы при заданных токах получить равные (или требуемые неравные) напряжения на дугах или равные полезные мощности по фазам. Для этого нужно на линиях дуг (рис. 3) из точек A' , B' и C' отложить равные или в обратной пропорции (по отношению к заданным значениям тока) напряжения на дугах и концы векторов напряжений на дугах соединить между собой. Полученный треугольник даст искомые напряжения сети.

Режимы при заданных напряжениях на дугах. В практике работы весьма важное значение имеет режим, обусловленный требованиями технологии или экономической работы печей, когда

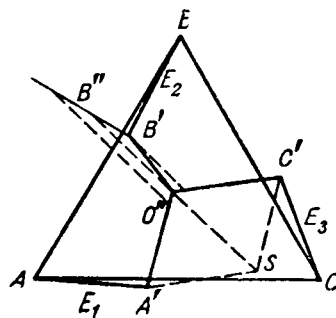


Рис. 4.

нужно поддерживать равные напряжения на дугах или обеспечить различие их, не превышающее определенного значения. При такой постановке задачи подлежат определению токи печи.

В каждой фазе расчетной схемы угол между вектором напряжения на дуге и падением напряжения на полном сопротивлении фазы $z_i - \psi_i = \arctg \frac{x_i}{r_i}$. Нанесем на рис. 4 треугольник на-

пряжений сети и из вершин треугольника отложим векторы E_1 , E_2 и E_3 . Если под углом $(-\pi + \psi_i)$ у начала каждого из этих векторов отложить линию $B'O''$ и т. д., то очевидно, что векторы $I_i Z_i$ по величине и фазе определятся отрезками $O''A'$, $O''B'$ и $O''C'$.

Необходимое условие для того, чтобы построение (при неизвестных направлениях векторов E_1 , E_2 и E_3) соответствовало искомому решению, заключается в том, что три вектора $I_i Z_i$ должны пересекаться в одной точке. Достаточное условие заключается в том, чтобы сумма токов, соответствующая полученным значениям $I_i Z_i$, равнялась нулю. Очевидно, что решение для токов, отвечающее обоим требованиям, является единственным.

Графический метод решения для случая, когда $x_1 = x_3 = x_0$, $r_1 = r_3 = r_0$ показан на рис. 4. На листе плотной бумаги наносят треугольник напряжений сети A, B, C , в общем случае несимметричный. На трех отдельных листах — шаблонах из прозрачной бумаги (кальки) строят под углами $\pi - \psi_i$ линии $A'A'$ и $A'O''$ и т. д. произвольной длины. На шаблоне фазы 2 наносят также под углом $\pi - \psi_0$ к отрезку BB' ряд равноотстоящих друг от друга пунктирных линий, а также линию, проходящую через точки B' и B'' и проведенную таким образом, что $\frac{|B'O''|}{|B''O''|} = \frac{|Z_2|}{|Z_0|}$. От точек B', C' и A' откладывают

в масштабе напряжений заданные напряжения дуг, измеряемые отрезками $B'B$, $C'C$ и $A'A$.

Накладывая все три шаблона на треугольник напряжения сети так, чтобы точки A, B, C на шаблонах совместились с соответствующими вершинами A, B, C треугольника напряжений сети, закрепляют их так, чтобы каждый шаблон

мог поворачиваться вокруг вершины треугольника. После этих предварительных операций приступают к определению искомых токов. Поворачивают шаблоны так, чтобы линии, нанесенные на них, пересекались в одной точке, например в точке O'' . При этом удовлетворяется необходимое условие. Достаточное условие требует, чтобы сумма полученных токов была равна нулю. Очевидно, что отрезки $C'O''$ и $A'O''$ отличаются от I_3 и I_1 тем, что они увеличены в Z_0 раз и повернуты на угол $\psi_1 = \psi_3 = \psi_0$. Учитывая это положение, остается нанести на диаграмму отрезок, соответствующий $I_2 Z_0$. Если отрезок по величине и направлению соответствует диагонали параллелограмма $O''S$, построенного на отрезках $C'O''$ и $A'O''$, то достаточное условие будет выполнено. Но

$$I_2 Z_0 = I_2 Z_2 \frac{Z_0}{Z_2} = I_2 Z_2 \left| \frac{Z_0}{Z_2} \right| e^{j(\psi_0 - \psi_2)}.$$

Следовательно, если пунктирная линия, проходящая через точку O'' , пройдет через S , причем $|\overline{B''O''}| = |\overline{OS}|$, то достаточное условие выполнено. Если оно не выполнено, изменяют поворот трех шаблонов и проверяют равенство нулю суммы токов печи в новой точке. В случае $x_1 \neq x_3$ или $r_1 \neq r_3$, пунктирные линии наносятся на шаблонах, например, для первой и второй фазы под углом $\pi - \psi_3$ к линиям напряжений на дугах.

Если требуется найти токи печи при других заданных значениях напряжения на дугах, достаточно на тех же шаблонах из точек B' , C' и A' отложить требуемые новые значения напряжений в каждой фазе.

Режимы равенства коэффициентов мощности по фазам расчетной схемы

Для случая, когда $x_1 = x_3 = x_0$,

$$\frac{x_0}{x_2} = \frac{x_0}{x_0 - \Delta x} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{1}{1 - \lambda}, \quad (13)$$

где $\lambda = \frac{\Delta x}{x_0}$.

Как известно [Л. 9],

$$\dot{U}_2'' = \frac{\dot{U}_{BC}}{\sum_{i=1,2,3} Y_i / Y_3} - \frac{\dot{U}_{AB}}{\sum_{i=1,2,3} Y_i / Y_1}.$$

Подставляя (13) и полагая треугольник напряжения сети симметричным, получим:

$$\begin{aligned} \dot{U}_2'' &= \frac{\dot{U}_{BC} + \dot{U}_{BA}}{2 + \frac{x_0}{x_0 - \Delta x}} = \dot{U}_2 \frac{3}{2 + \frac{x_0}{x_0 - \Delta x}} = \\ &= \dot{U}_2 \frac{3(1 - \lambda)}{3 - 2\lambda} = \dot{U}_2 x, \end{aligned} \quad (14)$$

где $x = \frac{3(1 - \lambda)}{3 - 2\lambda}$.

Следовательно, $\dot{U}_0''$ направлено по U_2 и равно:

$$\dot{U}_0'' = \dot{U}_2 - \dot{U}_2'' = \dot{U}_2 (1 - x) = \dot{U}_2 \frac{\lambda}{3 - 2\lambda}. \quad (15)$$

В этом случае сдвиг нулевой точки постоянен, не зависит от нагрузки и определяется лишь значением λ .

Для каждой из фаз может быть построена круговая диаграмма. Очевидно, что в этом случае соотношение токов и мощностей в различных фазах также зависит лишь от λ :

$$\left. \begin{aligned} U_1'' &= U_3'' = U \sqrt{3 - 3x + x^2}, \\ I_2 &= \frac{U x}{\sqrt{R_2^2 + (x_0 - \Delta x)^2}}, \\ I_1 &= I_3 = U (1 - \lambda) \sqrt{\frac{3 - 3x + x^2}{R_2^2 + (x_0 - \Delta x)^2}}, \\ \frac{P_{a3}}{P_{a2}} &= \left(\frac{3}{x^2} - \frac{3}{x} + 1 \right) (1 - \lambda). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

В приложениях 2 и 3 приведены режимы для мощных реальных ферросплавной и сталеплавильной печей, рассчитанные по изложенной методике.

Определение параметров расчетной схемы. Ранее предложенные методы определения параметров несимметричных цепей, указанные в обзоре и базирующиеся на измерении падений напряжения на участках низковольтного трехфазного шинпровода, характеризуются следующими погрешностями и недостатками:

1. Погрешности, связанные с наведением дополнительных э. д. с. в измерительных контурах от потоков, образуемых мощными токоподводами. Трехфазные шинпроводы сравнительно небольшой протяженности имеют многократные изгибы под весьма различными углами, и каждая фаза не расположена в одной плоскости. Поэтому достаточно трудно найти трассу для измерительных проводов, свободную от этих погрешностей, связанных с влиянием потоков рассеяния.

2. Погрешности, связанные с ошибками в показаниях приборов, от действия магнитных полей. Эти погрешности можно свести до требуемого минимума выбором приборов соответствующей конструкции и выносом их на достаточное расстояние от печи.

3. Переменная погрешность, обусловленная несинусоидальностью токов в цепях, вызванной наличием мощного дугового разряда в печи. Эта погрешность зависит от рода выплавляемого сплава, величин $\gamma = \frac{x}{r}$

печи, $\beta = \frac{E}{U_{\max}}$ и рабочего тока печи.

4. Погрешность, вызванная неизбежными и практически непрерывными колебаниями нагрузки (особенно сталеплавильных печей) и необходимостью одновременного отсчета по нескольким приборам.

Применение фотографирования для фиксации показаний приборов позволяет свести до минимума эту ошибку.

5. Значительная трудоемкость измерений и возможность весьма грубых ошибок при отсутствии высокой квалификации экспериментатора. Именно по этим причинам лишь несколько печей было исследовано этими методами в Советском Союзе.

Предлагаемая методика определения параметров расчетной схемы путем измерений, произведенных на высоковольтной стороне трансформатора, базируется на следующих положениях.

Основным при определении параметров установки является опыт трехфазного короткого замыкания. Опыт должен производиться при погружении концов трех электродов в жидкую ванну металла на наименьшей ступени вторичного напряжения трансформатора и при включенном дросселе с тем, чтобы получить наименьшие кратности тока. Если имеется возможность выделить для проведения опыта отдельный генератор, то опыт следует производить при номинальном токе установки и пониженном напряжении генератора. В большинстве случаев это неосуществимо. При питании от нормальной сети токи на низковольтной стороне установки получают порядка двухкратных, а на высокой — немногим больше номинального, паспортного. Однако по данным опыта трехфазного короткого замыкания можно составить лишь 4 уравнения для определения 6 неизвестных сопротивлений эквивалентной схемы. Следовательно, задача получается определенной лишь в случае печи, для которой два дополнительных уравнения получаются из условий $x_1 = x_3$ и $r_1 = r_3$. Первое из указанных равенств, как правило, имеет место для большинства промышленных установок, однако при постановке опыта целесообразно в этом убедиться. Что касается равенства активных сопротивлений крайних фаз, то оно весьма часто может и не соблюдаться, хотя бы вследствие различного сечения и числа переходных контактных сопротивлений составного электрода или различных контактных сопротивлений в низковольтном шинопроводе.

Если одновременно с опытом трехфазного короткого замыкания поставить вспомогательный опыт двухфазных коротких замыканий (погружением в металл попарно концов двух электродов), то можно определить значения трех приведенных фазных сопротивлений цепи и индуктивностей трех петель.

В случае одноименной группы соединений первичных и вторичных обмоток трансформатора

$$\left. \begin{aligned} r_{ik} &= \frac{P_{ik} - P_x}{I_{ik}^2}, \\ x_{ik} &= \frac{\sqrt{(U_{ik} I_{ik}) - P_{ik}^2}}{I_{ik}^2}, \\ r_i &= 0,5(r_{ik} - r_{km} + r_{mi}), \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где P_x — потери холостого хода трансформатора; k, m — нумерация фаз.

При соединении вторичных обмоток в треугольник предварительно находят аналитически или графически [Л. 5] напряжения на вторичных выводах трансформатора, затем параметры петли из низковольтных шинопроводов двух фаз и, наконец, сопротивление петли с учетом приведенных сопротивлений трансформатора и дросселя.

Если бы параметры цепи были линейны, то можно было бы вообще ограничиться определением их из трех опытов двухфазных коротких замыканий. Вследствие динамического взаимодействия токов и перераспределения их по сечению низковольтного шинопровода при переходе от однофазной к трехфазной нагрузке, индуктивные и активные сопротивления могут отличаться. Однако опыт двухфазных коротких замыканий позволяет определить порядок всех величин и соотношение параметров

$$\frac{x_1}{x_3} = k_x, \quad \frac{r_1}{r_3} = k_R. \quad (18)$$

Использование этих двух уравнений совместно с 4 уравнениями для опыта трехфазного короткого замыкания делает решение определенным. Чем больше отличаются истинные значения активных сопротивлений крайних фаз и реактивных сопротивлений малых петель, тем выше будет точность предлагаемого метода по сравнению с допущением $k_x = k_R = 1$.

Основные исходные уравнения для определения параметров установки при $k_x = 1$:

$$\left. \begin{aligned} U_{CA} &= r_2(I_3 - I_1 k_R) + jx_3(I_3 - I_1), \\ U_{BC} &= I_2 Z_2 - I_3 Z_3. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Аналитический метод обработки данных опыта дан в приложении 4.

Весьма нагляден и удобен графоаналитический метод обработки данных опыта, базирующийся на уравнениях (19). Применение его особенно целесообразно в случае разных схем соединения обмоток трансформатора. Пусть схема соединений трансформатора Δ/Δ и обе обмотки приведены к одному числу витков. Нанесем на чертеж треугольник напряжений сети и токов (рис. 5). Зная по паспортным данным сопротивления дросселя D и трансформатора T , находим падения напряжения $I_1 r_i$ и $I_i(x_d + x_m)$ и откладываем их на графике. Очевидно, что центр тяжести полученного треугольника c , a , b определяет линейные напряжения вторичной стороны. Построением определяются линейные токи низкой стороны, равные: $I_1 = I_B - I_A$, $I_2 = I_C - I_B$, $I_3 = I_A - I_C$. Далее строим вектор $I_3 - k_R I_1$ и $I_3 - I_1$. У точки a вектора ac проводим линию ka , параллельную вектору $I_3 - I_1 k_R$ а у точки c — линию ck , перпендикулярную $I_3 - I_1$. Очевидно, что в масштабе напряжений получаемый отрезок $ak \equiv |r_3''(I_3 - k_R I_1)|$, а $kc \equiv |x_3''(I_3 - I_1)|$.

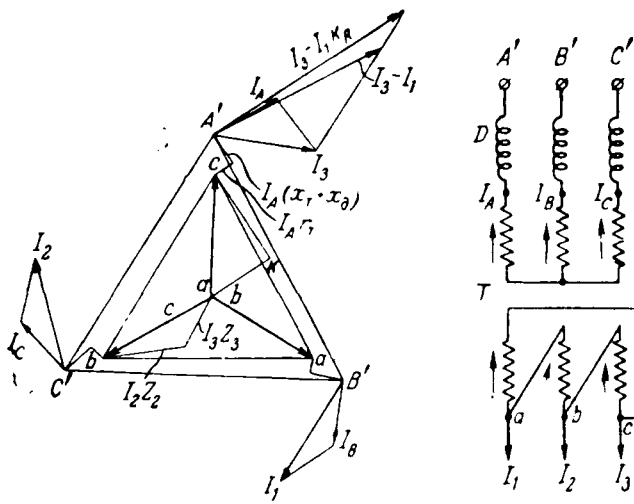


Рис. 5.

где $r_3'' = r_3 - (r_m'' + r_d'')$, $x_3'' = x_3 - (x_m'' + x_d'')$, а r_m'' , r_d'' , x_m'' и x_d'' — сопротивления трансформатора и дросселя³, приведенные к напряжению низковольтной стороны. Таким образом, находим r_1'' и r_1 , x_3'' и $x_3 = x_1$, а по (18) r_1 . На основании второго из уравнений (19) графически определяем r_2'' и x_2'' , после чего, учитывая сопротивления дросселя и трансформатора, находим полные значения r_2 и x_2 .

Изложенный метод свободен от недостатков, указанных выше в пп. 1, 3, 4 и 5. В случае, если токи короткого замыкания заметно отличаются от номинальных, появляется погрешность измерения, обусловленная наличием стальных масс вблизи низковольтного шинпровода и зависимости параметров цепи от тока.

По этому вопросу совершенно отсутствуют экспериментальные данные. Погрешность эта не должна быть особенно значительной при указанных кратностях токов. Исследование на нескольких типовых печах позволит оценить величину требуемой поправки. Именно по этим соображениям рекомендуется постановка опыта на наименьшей рабочей ступени напряжения и при включенном дросселе.

Заключение

1. Трехфазная печь с неравными магнитными связями между тремя фазами может быть приведена к расчетной схеме, состоящей из трех пассивных сопротивлений, включенных в звезду.

2. Экспериментальное определение параметров расчетной схемы можно произвести путем измерений на высоковольтной стороне печного трансформатора и постановки опытов трехфазного и трех двухфазных коротких замыканий.

3. Разработанная методика аналитического и графоаналитического расчета позволяет задать,

³ Обычно $r_d'' \approx 0$. Поэтому на рис. 5 r_d не учитывается.

установить и контролировать требуемый режим каждой из трех дуг сталеплавильной и руднотермической печи, ориентируясь на приборы, установленные на высоковольтной стороне трансформатора. Это обстоятельство особенно важно для мощных печей, не снабженных трансформаторами тока на низковольтной стороне печного трансформатора.

4. В случае постоянства или равенства по фазам печи заданного соотношения токов, напряжений на дугах, фазовых активных сопротивлений можно построить электрические характеристики печей в функции этих величин.

5. Одним и тем же общим электрическим показателям работы печи могут соответствовать различные напряжения и мощности различных дуг, с которыми связаны различные значения теплового к. п. д., удельного расхода энергии и производительности агрегата.

Как правило, оптимальный режим работы мощных сталеплавильных и ферросплавных печей с несимметричным подводом тока связан с несимметричными электрическими режимами для трех очагов энергии в печи.

Так, для мощных сталеплавильных печей в первую половину периода расплавления (до выхода дуг на поверхность полурасплавленного металла) следует изучать режим, близкий к $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$, с которым может быть связано повышение технических показателей работы агрегата.

Для мощных сталеплавильных печей в конце периода расплавления и в период рафинирования металла, а также для мощнейших печей, выплавливающих ферросплавы, карбид кальция и другие сплавы, улучшения всех технических показателей можно достигнуть при режимах, близких к $E_1 = E_2 = E_3$. Для сталеплавильных печей этот режим может способствовать увеличению срока службы огнеупоров.

Приложение 1 (расчет при равных фазных активных сопротивлениях).

Известный интерес может представить случай, когда активные сопротивления в трех фазах печи равны. Если $x_1 = x_3$, симметрия нагрузок нарушается тем, что во второй фазе включена некоторая эквивалентная емкость Δx . В соответствии с (9) и (10') для рассматриваемого случая

$$\dot{U}_0'' = j \frac{I_2 \Delta x}{3},$$

$$\dot{U}_0'' - \dot{U}_0' = j 0,5 I_2 \Delta x.$$

Из векторной диаграммы (рис. 6) нетрудно определить I_2 . Полагая напряжения сети симметричными, находим:

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(x_0 - \frac{2}{3} \Delta x\right)^2}}.$$

Для треугольника напряжений $AB'C$ нулевая точка совпадает с нулевой точкой расчетной схемы. Составляющие его фазные напряжения определяются равными сопротивлениями во всех фазах и различными токами. Найдя фазные напряжения $O'A$, $O'B''$ и $O'C$, нетрудно найти токи во второй и третьей фазе.

Попутно отметим, что треугольники BDB'' и ODO'' подобны, причем $\overline{B'D} = 3 \cdot \overline{O'D}$. При любых токах I_2

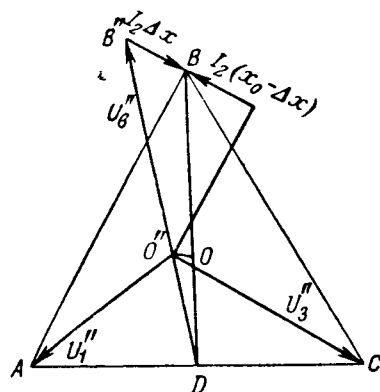


Рис. 6.

точка D скользит по линии AC . Угол между векторами U_0'' и U_{AC}

$$\alpha = \arcsin \frac{I_2 \left(x_0 - \frac{2}{3} \Delta x \right)}{U}. \quad (20)$$

Напряжения

$$\dot{U}_1'' = \dot{U}_1 - \dot{U}_0'' = \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} U + U_0'' \cos \alpha \right) + j(-0,5U - U_0'' \sin \alpha),$$

$$\dot{U}_2'' = \dot{U}_2 - \dot{U}_0'' = jI_2 \Delta x = (U_0'' - I_2 \Delta x) \cos \alpha + j[U - (U_0'' - I_2 \Delta x) \sin \alpha],$$

$$\dot{U}_3'' = \dot{U}_3 - \dot{U}_0'' = \left(U \frac{\sqrt{3}}{2} + U_0'' \cos \alpha \right) + j(-0,5U - U_0'' \sin \alpha).$$

Абсолютная величина этих напряжений, если положить $\frac{U_0''}{U} = \eta$:

$$\left. \begin{aligned} U_1'' &= U \sqrt{1 + \eta^2 + \eta(\sin \alpha - \sqrt{3} \cos \alpha)}, \\ U_2'' &= U \sqrt{4\eta^2 + 1 + 4\eta \sin \alpha}, \\ U_3'' &= U \sqrt{1 + \eta^2 + \eta(\sin \alpha + \sqrt{3} \cos \alpha)}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Искомые токи

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= I_2 \sqrt{\frac{1 + \eta^2 + \eta(\sin \alpha - \sqrt{3} \cos \alpha)}{1 + 4\eta^2 + 4\eta \sin \alpha}}, \\ I_3 &= I_2 \sqrt{\frac{1 + \eta^2 + \eta(\sin \alpha + \sqrt{3} \cos \alpha)}{1 + 4\eta^2 + 4\eta \sin \alpha}}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для рассматриваемого случая отношения активных мощностей в различных фазах определяются отношениями квадратов токов. Полезные мощности в различных фазах определяются значениями $I_i^2 (R - r_i)$.

Для рассматриваемого случая можно построить нагрузочные характеристики печи в зависимости от $R = \text{var}$.

Приложение 2 (пример применения методики расчета к типовой ферросплавной печи 7500 кВа)

В табл. 1 для реальной ферросплавной печи мощностью 7500 кВа с несимметричным подводом тока с параметрами

$$\frac{\Delta x}{x_0} = 0,535, \quad \frac{x_0}{r_1} = 8,22, \quad r_1 = r_2 = r_3,$$

приводятся результаты расчета для режимов: 1) $I_1 = I_2 = I_3 = I$ и $\frac{I x_0}{U} = 0,571$; 2) при $E_1 = E_2 = E_3$ и E_2 по 2); равном E_3 по 1); 3) $R_1 = R_2 = R_3$; 4) $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$.

Для более наглядного сравнения различных несимметричных режимов, которые могут устанавливаться на одной и той же печи, в табл. 1 даны процентные значения. За 100% приняты ток, напряжение на дуге и полезная фазная мощность во второй фазе, а также остальные показатели для режима равных токов. Анализ табл. 1 показывает:

1. $I_1 = I_2 = I_3$. Различия в напряжениях и мощностях на крайних дугах достигают 43,3%.

2. $E_1 = E_2 = E_3$. Полезная мощность в фазе 3 падает, в фазе 1 увеличивается. Для сохранения общей полезной мощности на уровне режима $I_1 = I_2 = I_3$ необходимо допустить некоторую перегрузку фаз 2 и 3 трансформатора.

3. $R_1 = R_2 = R_3$. Токи в фазах 2 и 3 остаются примерно равными, напряжение на дуге в фазе 2 мало меняется, в 3 — заметно уменьшается, в 1 — возрастает, а в общем заметно выравнивается по фазам. Полезная мощность по фазам также выравнивается, но все же в фазе 1 она заметно меньше.

4. $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$. Токи в фазах 2 и 3 резко уменьшаются, напряжения резко возрастают, мощности на дугах в фазах 1 и 3 возрастают, а в фазе 2 заметно падает.

В случаях 1, 2 и 3 η и $\cos \varphi$ остаются примерно на равном уровне. В случае 2 $\cos \varphi$ наивысший, несмотря на перегрузку в фазах 2 и 3. Наивысший $\cos \varphi$ получается для режима $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$.

Радикальное решение вопроса требует изготовления для мощных печей трансформаторов с асимметричными напряжениями на низкой стороне.

Приложение 3 (режимы реальной мощной дуговой сталеплавильной печи)

Мощность печи 7300 кВа, $U = 234$ в, $I_n = 18000$ а. Экспериментально полученные параметры установки:

$$\begin{aligned} x_1 = x_3 = x_0 &= 39,9 \cdot 10^{-4} \text{ ом}; \quad x_2 = 27,5 \cdot 10^{-4} \text{ ом}; \quad r_1 = r_3 = \\ &= 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ ом}; \quad r_2 = 8,96 \cdot 10^{-4} \text{ ом}; \quad \frac{x_0 - x_2}{x_0} = 0,311. \end{aligned}$$

В табл. 2 приведены полученные расчетом режимы печи для случаев $I_1 = I_2 = I_3 = 18000$ и 16500 а; $\cos \varphi_i = 0,9$ и $E_i = 108$ в. В таблице t — время работы печи, $W_{пол}$ — энергия, выделенная в дуге за время t .

Приняты следующие режимы для периода расплавления: 60% энергии вводится при режиме $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 =$

Таблица 1*

Режим	I_1	I_2	I_3	E_1	E_2	E_3	$P_{пол1}$	$P_{пол2}$	$P_{пол3}$	$\Sigma P_{пол}$	P_a	P_r	P	$\eta \%$	$\cos \varphi$
$I_1 = I_2 = I_3$	100	100	100	78,4	100	121,7	78,4	100	121,7	100	100	100	100	92	0,882
$E_1 = E_2 = E_3$	84	112	107	100	100	100	84	112	107	101	101	99	100,7	92	0,89
$R_1 = R_2 = R_3$	89,5	104	105	89,5	104	105	80	108,1	109,7	99,5	99,4	93,4	99,2	92,3	0,888
$\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3$	89,4	119,3	89,4	120,5	70,0	120,5	107,8	83,2	107,8	99,8	99,9	91,5	98,9	92,1	0,90

*Токи и напряжения даны в процентах к току I_n в режиме $I_1 = I_2 = I_3$. Мощности также отнесены к этому режиму.

Таблица 2

	Режим $I_1=I_2=I_3$	Комбинированный режим			
		$\cos \varphi_1 =$ $= \cos \varphi_2 =$ $= \cos \varphi_3$	$E_1=E_2=E_3$	Сум- марные по- казатели	
I_1, a	18 000	16 500	15 800	16 000	
I_2, a	18 000	16 500	18 000	16 500	
I_3, a	18 000	16 500	15 800	14 600	
$E_1, в$	110	108,5	110	108	
$E_2, в$	100	101,6	85	108	
$E_3, в$	87	95	110	108	
$P_{пол 1}, кВт$	1 980	1 790	1 740	1 725	
$P_{пол 2}, кВт$	1 800	1 675	1 530	1 780	
$P_{пол 3}, кВт$	1 565	1 570	1 740	1 575	
$t, мин$	70	74	45	29	74
$W_{пол 1}, кВтч$	2 310	2 200	1 305	838	2 143
$W_{пол 2}, кВтч$	2 100	2 070	1 150	860	2 010
$W_{пол 3}, кВтч$	1 820	1 940	1 305	760	2 065
$\eta, \%$	83,3	85	84,7	88	86,2
$\cos \varphi$	0,88	0,90	0,9	0,91	0,904

$= \cos \varphi_3$, остальная часть энергии вводится при режиме $E_1=E_2=E_3=108 в$. Как следует из табл. 2, при комбинированном режиме работы выравнивается энергия, выделяемая в различных дугах печи, повышаются $\cos \varphi$ и η по сравнению с обычно применяющимся режимом $I_1=I_2=I_3$.

Приложение 4 (аналитический метод обработки данных опыта трехфазного короткого замыкания)

Схемы соединения обмоток трансформатора Δ/Δ и Δ/Δ $k_x=I$.

Взяв за базу ток I_1 и определяя из треугольника токов δ_{11} , на основании (19) получаем:

$$\left. \begin{aligned} U_{CA} \cos \varphi_1 - AC &= r_3 \left[I_3 \cos \left(\delta_{13} + \frac{\pi}{2} \right) - I_1 k_R \right] - I_3 x_3, \\ U_{CA} \sin \varphi_1 - AC &= r_3 I_3 \sin \delta_{13} + x_3 [I_3 \cos \delta_{13} - I_1], \\ U_{BC} \cos \varphi_2 - BC &= I_2 r_2 - I_3 r_3 \cos \delta_{23} - I_3 x_0 \cos \left(\delta_{23} - \frac{\pi}{2} \right), \\ U_{BC} \sin \varphi_2 - BC &= I_2 x_2 - I_3 r_0 \cos \left(\delta_{23} + \frac{\pi}{2} \right) - I_3 x_0 \cos \delta_{23}. \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Решая первые два уравнения, после некоторых преобразований получаем:

$$\left. \begin{aligned} r_3 &= 2 \frac{P_{3-CA} - P_{1-CA}}{I_1^2 (3k_R + 1) - I_2^2 (k_R + 1) + I_3^2 (3 + k_R)}, \\ x_3 &= 2 \frac{P_{r3-CA} - k_R P_{r1-CA}}{I_1^2 (3k_R + 1) - I_2^2 (k_R + 1) + I_3^2 (k_R + 3)}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

P_{1-CA} и P_{3-CA} — показания однофазных ваттметров активной мощности, включенных по схеме Арона; P_{r1-CA} и P_{r3-CA} — значения реактивной мощности, которые легко можно подсчитать по показаниям амперметров, вольтметров и ваттметров активной мощности.

Подставляя эти значения в третье и четвертое уравнения, после некоторых преобразований находим:

$$\left. \begin{aligned} r_2 &= \frac{I_3}{I_2} (r_3 \cos \delta_{23} + x_3 \sin \delta_{23}) - \frac{P_{2-BC}}{I_2^2}, \\ x_2 &= -\frac{I_3}{I_2} (r_3 \sin \delta_{23} + x_3 \cos \delta_{23}) - \frac{P_{r2-BC}}{I_2^2}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\text{где } \cos \delta_{23} = \frac{I_1^2 - I_2^2 - I_3^2}{2I_2 I_3}.$$

По величине суммарной активной и реактивной мощности установки можно проверить правильность расчетов.

Схема включения измерительных приборов, соответствующая уравнениям (24) и (25), требует трех однофазных ваттметров. Установление фазы токов относительно напряжений производится на основании данных опытов

$$\varphi_{l-km} = \arccos \frac{P_{l-km}}{I_l U_{km}}.$$

Литература

1. В. И. Воробьев, П. Л. Калантаров. Об уравновешивании трехфазной системы токов в печах с несимметричным подводом тока. *Электричество*, стр. 1065, № 19, 1931.
2. М. А. Ченцов. Теория трехфазной электрической печи с несимметричной подводкой тока. МЭИ, Диссертация, 1936.
3. С. И. Тельный. К вопросу о построении круговых диаграмм и электрических характеристик электрометаллургических установок. *Научные труды ДМИ, Металлургиздат*, вып. 7, стр. 94, 1940.
4. С. И. Тельный. К теории трехфазной дуговой печи с непроводящей подиной. *Электричество*, стр. 38, № 12, 1948.
5. Г. Н. Петров. Трансформаторы. Энергоиздат, т. I, стр. 111 и 273, 1934.
6. Ю. Е. Ефроймович. Инженерные методы расчета дуговых печей с учетом нелинейности, вносимой дуговым разрядом. *Электричество*, стр. 43, № 12, 1948.
7. И. В. Чокке. Электрическая плавильная печь, ОНТИ, 1936.
8. Б. М. Струнский. Сравнение двух схем короткой сети для печей с прямоугольными ваннами. *Электричество*, стр. 68, № 10, 1949.
9. К. А. Круг. Основы электротехники, Госэнергоиздат, изд. 6-е, ч. II, стр. 204, 1946.

[20. 9. 1950]



Поверка частотомеров с использованием частоты 1000 гц, передаваемой по радио

Кандидат техн. наук Ю. М. ЭЛЬКИНД

Центральная научно-исследовательская электротехническая лаборатория МЭС

В 1947 г. ЦНИЭЛ МЭС разработал установку для поверки частотомеров с использованием несущей частоты вещательных радиостанций [Л. 1]. В статье дано описание разработанной той же лабораторией установки для поверки и градуировки частотомеров в диапазоне 40—60 гц с использованием эталонной частоты 1 000 гц, передаваемой по радио. Установка разрабатывалась как типовая и предназначалась для нужд энергетических систем.

На рис. 1 приведена скелетная схема установки. Здесь переключатели Π_1 и Π_2 позволяют сравнить измеряемую частоту с эталонной, передаваемой по радио, или с частотой образцового генератора, а также сравнить частоту образцового генератора с частотой, передаваемой по радио.

По сравнению с аналогичной установкой, использующей несущую частоту вещательных радиостанций [Л. 1], эта установка имеет следующие преимущества:

1. Излучаемая радиостанцией несущая частота, модулированная эталонной частотой 1 000 гц, может быть принята обычным радиоприемником. Опадает необходимость в специальном устройстве для выделения несущей частоты.

2. Относительно небольшая кратность сравниваемых частот позволяет применить в схеме простейшую вспомогательную аппаратуру и стандартный однолучевой осциллограф.

3. Сравнение с эталонной частотой 1 000 гц, полученной от рабочего эталона частоты, значительно повышает точность и надежность установки и позволяет рассматривать ее как образцовую.

Для получения достаточного числа опорных точек (6—8 точек на 1 гц) в установке производится сравнение измеряемой частоты с третьей гармонической эталонной частоты. С этой целью напряжение с выхода приемника 1 (рис. 1) подается на вход умножителя 2 и уже преобразо-

Изложены результаты работы ЦНИЭЛ МЭС по созданию типовой установки для измерения промышленных частот с использованием эталонной частоты 1 000 гц, передаваемой по радио. Дана методика сравнения частот посредством неподвижных фигур Лиссажу и показана однозначность условий их линейности. Приведено описание схем установки и ее основных элементов.

ванное в напряжение с частотой 3 000 гц используется для сравнения.

При сравнении значительно отличающихся друг от друга частот методом фигур Лиссажу на экране осциллографа остав-

ляют только несколько периодов фигуры для их лучшего рассмотрения [Л. 1].

Фигура Лиссажу неподвижна, если

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{N_2}{N_1}, \quad (1)$$

где N_1 и N_2 — любые целые числа.

В описываемой установке $f_2 = f_{\text{эт}} = 3\,000$ гц, $f_1 = f_{\text{изм}} = 40—60$ гц.

Из (1) следует, что

$$f_{\text{изм}} = f_{\text{эт}} \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (2)$$

где $\frac{N_2}{N_1}$ изменяется от 75 до 50 (для диапазона 40—60 гц).

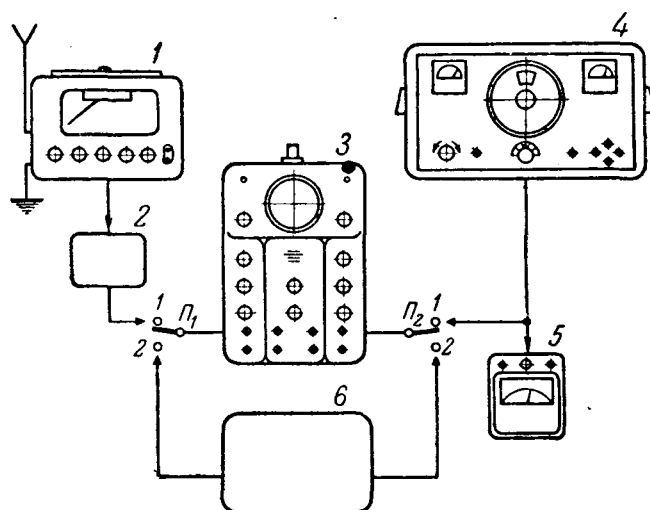


Рис. 1. Скелетная схема установки для поверки и градуировки частотомеров.

1—приемник; 2—умножитель; 3—осциллограф; 4—генератор ГПЧ-1; 5—частотомер; 6—образцовый генератор частоты.

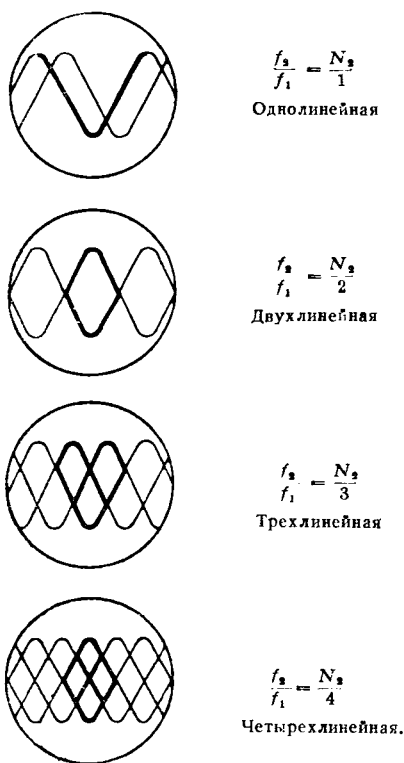


Рис. 2. Фигуры Лиссажу.

Вид фигур Лиссажу определяется величиной отношения $\frac{N_2}{N_1}$, а число линий, из которых они состоят, — значением числа N_1 . При $N_1 = 1$ получаются однолинейные фигуры, а при $N_1 = 2, 3, 4$ — двух-, трех-, четырехлинейные фигуры и т. д.

Число N_1 однозначно определяет линейность фигуры Лиссажу.

Таблица 1

Шкала опорных точек $f_{эм} = 3000$ гц

Однолинейные	Кратность	$+1/4$	$+1/2$	$+3/4$	$+1$	$+5/4$
55,5555	54	55,2995	55,2150	55,0458	54,8780	54,7948
54,5454	55	54,2986	54,2168	54,0540	53,8920	53,8116
53,5714	56	53,3333	53,2544	53,0973	52,9411	52,8634
52,6315	57	52,4017	52,3256	52,1739	52,0231	51,9480
51,7241	58	51,5021	51,4285	51,2820	51,1364	51,0638
50,8474	59	50,6329	50,5618	50,4201	50,2793	50,2092
50,000	60	49,7925	49,7237	49,5867	49,4505	49,3827
49,1803	61	48,9796	48,9131	48,7804	48,6486	48,5829
48,3879	62	48,1928	48,1280	48,0000	47,8720	47,8087
47,6190	63	47,4303	47,3680	47,2411	47,1200	47,0588
46,8750	64	46,6926	46,6321	46,5116	46,3917	46,3320
46,1538	65	45,9770	45,9183	45,8016	45,6852	45,6273
45,4545	66	45,2830	45,2261	45,1120	45,0000	44,9438

В табл. 1 приведены результаты подсчета опорных точек для частотной шкалы от 44,94 до 55,5555 гц в соответствии с формулой (2).

Для примера в табл. 2 дан результат подсчета опорных точек для $f_{изм} = 50 - 51$ гц, что соответствует изменению $\frac{N_2}{N_1}$ от 60 до 58 $\frac{3}{4}$.

В установке применяются только те фигуры для которых $N_1 = 1, 2, 3$ и 4, так как для фигур с большим числом линий отсчет затруднен. На рис. 2 показаны эти фигуры. Для однолинейной фигуры показаны прямой и обратный лучи, для остальных оба луча совмещены.

Наименьшая разница между двумя соседними опорными частотами однолинейных фигур Лиссажу составляет около 0,6 гц (табл. 1). Следовательно, в качестве контрольного можно применить любой частотомер, удовлетворяющий классу точности I.

После Великой Отечественной войны в СССР были начаты передачи эталонных частот по радио. Передачи производились на длинных, средних и коротких волнах. ЦНИЭЛ МЭС совместно с рядом энергетических систем Министерства электростанций организовала изучение условий приема эталонной частоты в Москве и в ряде других городов Советского Союза.

При наблюдении за кривой напряжения эталонной частоты, развернутой на экране осциллографа, обращалось внимание на форму кривой и стабильность ее амплитуды, непрерывность и устойчивость приема, наличие и вид помех, а также выяснялось влияние регуляторов громкости и тона приемника на форму кривой напряжения эталонной частоты.

В табл. 3 даны результаты одновременного приема эталонной частоты 28 и 31 декабря 1948 г. в Москве и некоторых городах Советского Союза при передаче ее на коротких волнах.

Анализ результатов длительного приема эталонных частот в Москве и на периферии позволил сделать следующие выводы:

1. Прием эталонной частоты на длинных и средних волнах почти всегда устойчив. Форма кривой напряжения эталонной частоты практически синусоидальна, амплитуда — стабильна. Однако сравнительно небольшая мощность передатчиков ограничивала радиус действия этих передач.

2. Прием эталонной частоты на коротких волнах не всегда устойчив. Форма кривой напряжения часто искажена, амплитуда изменяется.

Иногда эти искажения столь велики, что использование эталонной частоты невозможно. Амплитудная и фазовая нестабильность сигнала в месте приема при передаче на коротких вол-

Таблица 2

$\frac{N_2}{N_1}$	60	59 $\frac{1}{4}$	59 $\frac{1}{2}$	59 $\frac{3}{4}$	59 $\frac{1}{2}$	59 $\frac{1}{4}$	59	58 $\frac{3}{4}$
$f_{изм}$	50	50,2092	50,2793	50,4201	50,5618	50,6329	50,8474	51,0638

Таблица 3

Результаты приема эталонной частоты, передававшейся по радио 28 и 31 декабря 1948 г. на коротких волнах с 15.00 до 16.30 по московскому времени

Дата (декабрь 1948)	Место приема	Антенна	Приемник	Осцилло- граф	Наиболь- шее коле- бание ам- плитуд на- пряжения эталонной частоты, %	Форма кривой напря- жения эталонной час- тоты	Примечание
28	ЦНИЭЛ	Наружная $h = 10 \text{ м}$ $l = 16 \text{ м}$	ПТС-47	ЭО-5	80	Искаженная	Форма неустойчива. Амплитуда нестабильна
31					0	Синусоидальная	—
28	Ленэнерго	Наружная $h = 13 \text{ м}$ $l = 20 \text{ м}$	6Н-1	Филлипс	0	Синусоидальная	Индустриальные помехи
31					0	Синусоидальная	Незначительные замирания
28	Челябэнерго	Комнатная $l = 4 \text{ м}$	Суперге- теродин- ный	ЭО-2 и электро- магнит- ный*	100	Сильно искажен- ная	Сигналы исчезали через каждые 1—2 мин на 10—15 сек. Сильные импульсные помехи
31					<100	Искаженная	Устойчивый прием, но амплитуда нестабильна
28	Ростовэнер- го	Наружная $h = 12 \text{ м}$ $l = 15 \text{ м}$	ВС-312 и ВС-342	ЭО-2	30	Искаженная	Индустриальные импульсные помехи
31					0	Искаженная	Прием устойчив и непрерывен
28	Кемеров- энерго	—	7Н-27	—	Прием производился только на слух		Сильные помехи телеграфных стан- ций. Замирания. Прием уверенный и непрерывный. Слышимость удо- влетворительная
31							
31	Колэнерго	Наружная $h = 25 \text{ м}$ $l = 40 \text{ м}$	6Н-27	ЭО-2	0	Синусоидальная	Иногда амплитуда уменьшалась до нуля в течение долей секунды
28	Свердлов- энерго	Наружная $h = 10 \text{ м}$ $l = 20 \text{ м}$	ВС-453-В	Элек- тронно- лучевой и элек- тромаг- нитный*	60	Синусоидальная	Значительные индустриальные по- мехи. Замирание. Опрокидывание фазы
31					0	Синусоидальная	—
28	Молотов- энерго	Комнатная $l = 4 \text{ м}$	7Н-27	ЭО-2	<100	Несинусоидальная	Атмосферные помехи. Прием неста- бильный. Замирание. Степень ис- кажения кривой часто изменяется
28	Сталинград- энерго	Наружная метелко- образная $h = 2 \text{ м}$	Нева	—	Прием производился только на слух		Прием устойчивый и непрерывный. Слышимость хорошая
31							

* шлейфовый

нах, как известно, объясняется условиями рас-
пространения коротких волн. Для уменьшения
влияния амплитудной нестабильности эталонной
частоты при передаче ее на коротких волнах
была осуществлена стабилизация напряжения
эталонной частоты, получаемого с выхода радио-
приемника методом амплитудного ограничения.
Схемы стабилизации и выделения третьей гармо-
нической были совмещены в одном ламповом
каскаде. Стабилизация повысила надежность
приема эталонной частоты и позволила значи-

тельно лучше использовать передачи эталонных
частот на коротких волнах.

Частота 1 000 гц, передаваемая по радио, по-
лучается от рабочего эталона частоты ЦНИБ,
имеющего суточную нестабильность порядка
(1—2) 10^{-8} .

Мгновенное значение эталонной частоты в ме-
сте ее приема может отличаться от истинного
значения главным образом вследствие явлений,
связанных с особенностями распространения ра-
диоволн. Поэтому проверка образцового генера-

тора частоты должна производиться длительным сличением его частоты с эталонной частотой, передаваемой по радио, путем подсчета числа оборотов в секунду, совершаемых фигурой Лиссажу, или частоты скольжения по формуле [Л. 1]:

$$f_s = f_{изм} - \frac{f_{эт}}{\frac{N_2}{N_1}}.$$

При достаточном промежутке времени такое сравнение может обеспечить точность измерения того же порядка, что и точность эталонной частоты, передаваемой по радио.

Сличение частоты образцового генератора с эталонной частотой может производиться и другими способами [Л. 2].

Проверка и градуировка частотомеров может производиться при неподвижной фигуре Лиссажу. Сравнение измеряемой частоты с эталонной производится по мгновенному значению. Практически никогда не удается добиться полной неподвижности фигуры. Это обстоятельство также вносит дополнительную погрешность в измерение [Л. 1]. Можно считать, что при проверке частотомеров методом неподвижных фигур Лиссажу установка ЦНИЭЛ обеспечивает точность порядка $\pm (2 \div 5) 10^{-3} \%$.

В 1949 г. ЦНИЭЛ выпустил серию установок для проверки частотомеров.

В работе принимали участие сотрудники ЦНИЭЛ МЭС А. П. Осадчий и Е. К. Лавриченко, а также были использованы ценные рекомендации Н. А. Ульяновского.

Приложение 1. Характеристики отдельных элементов установки ЦНИЭЛ. Приемник необходим супергетеродинного типа с большой чувствительностью и с узкой полосой пропускания частот. В установке применен десятиламповый супергетеродинный приемник типа ПТС-47.

Умножитель и стабилизатор совмещены в одном ламповом каскаде. На рис. 3 приведена схема умножителя-стабилизатора типа УС-1, разработанного ЦНИЭЛ.

Схема представляет собой усилительный каскад, собранный на лампе 6Ж7, работающей в режиме амплитудного ограничения. На входные зажимы а—б лампы 6Ж7 (управляющая сетка—катод) подается напряжение эталонной частоты 1000 гц с выхода радиоприемника. Благодаря стабилизирующему действию лампового каскада напряжение переменной составляющей в его анодной цепи имеет практически прямоугольную форму и в широких пределах не зависит от величины входного напряжения. Для выделения третьей гармонической 3000 гц и подавления основной частоты 1000 гц применен сложный контур C_1, C_2, L_2 , включенный в анодную цепь лампы 6Ж7.

Напряжение на контур подается с помощью разделительного конденсатора C_4 . Правая ветвь контура состоит из последовательно включенных C_2, L_2 , настроенных в резонанс на частоту 1000 гц. Весь контур настроен на частоту 3000 гц. В таком случае на зажимах контура с—d будет выделяться напряжение третьей гармонической, т. е. частота 3000 гц.

Подавление основной частоты будет тем больше, чем выше добротность Q дросселя L_2 . При выполнении дросселя на тороиде из карбонильного железа ($L_2 = 0,5$ гн, $Q \approx 90$) на выходе умножителя-стабилизатора обеспечивалось практически синусоидальное напряжение с частотой 3000 гц. При изменении входного напряжения умножителя от 5 до 80 в напряжение на выходе остается синусоидальным, неизменным по величине и равным 10 в. По конструктивным соображениям умножитель встроен в генератор измеряемой частоты и питается от силовой части.

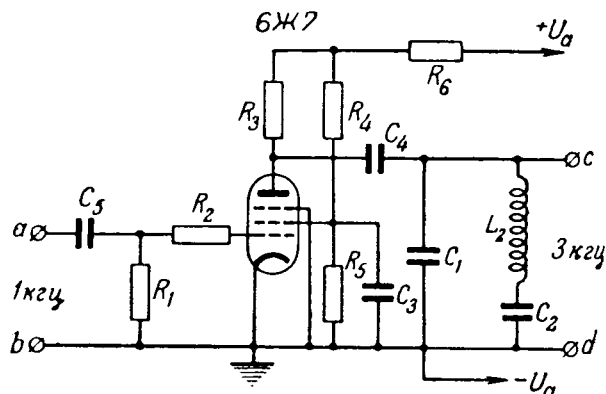


Рис. 3. Схема умножителя.

R_1 —1 мгом; R_2 —1,2 мгом; R_3 —70 000 ом; R_4 —70 000 ом; R_5 —20 000 ом; R_6 —150 000 ом; C_5 —2 пф; C_4 —0,025 мкф; C_3 —0,5 мкф; C_2 и L_2 настроены на 1000 гц; C_1, L_2 и C_3 настроены на 3000 гц.

Осциллограф является индикатором сравнения частот и одновременно его усилители повышают до необходимого уровня напряжения сравниваемых частот.

В установке применен осциллограф типа ЭО-5. Можно применить также осциллограф типа ЭО-4 и др.

Генератор измеряемой (промышленной) частоты. Для этой цели может быть использован любой машинный или ламповый генератор, имеющий синусоидальную форму кривой напряжения и достаточно плавную регулировку частоты.

В установке применен ламповый генератор типа ГПЧ-1, разработанный ЦНИЭЛ. Задающий генератор собран по схеме R—C с положительной и отрицательной обратной связью; усилитель мощности собран по двухтактной схеме.

Генератор ГПЧ-1 имеет следующие диапазоны по частоте: общий диапазон: 40—60 гц; поддиапазоны: 42—45; 45—48; 48—51; 51—54 гц.

Генератор отдает максимальную неискаженную мощность около 20—25 вт при выходном напряжении 110—220 в. Коэффициент искажения генератора при работе на активное сопротивление 3%. Генератор рассчитан на питание от сети переменного тока 110, 127 и 220 в, потребление около 130 ват. На лицевой панели установлены вольтметр и миллиамперметр, контролирующие выходное напряжение и ток.

Контрольный частотомер предназначен для предварительного определения частоты. В установке применен двухпредельный стрелочный детекторный частотомер типа ДЧ-49, разработанный ЦНИЭЛ и изготавливаемый заводом «Энергоприбор».

Образцовый генератор частоты должен иметь синусоидальное напряжение с частотой 1000 или 3000 гц и обладать стабильностью по частоте не хуже $1 \cdot 10^{-4}$.

При работе с образцовым генератором его частота должна регулярно сличаться с эталонной частотой 1000 гц, передаваемой по радио.

По условиям сравнительно высокой стабильности генератор должен быть кварцевый или камертонного типа. Образцовый генератор необходим в тех случаях, когда требуется ежедневная и длительная работа на установке или если дальность расстояния от радиостанции, передающей эталонную частоту, не обеспечивает ежедневного уверенного приема эталонной частоты по радио.

Приложение 2. Однозначность определения линейности фигур Лиссажу.

Положим, что каждая из амплитуд напряжений сравниваемых частот равна единице. Отклонение луча осциллографа под влиянием напряжения одной из частот, приложенного к горизонтальным отклоняющим пластинам,

$$x = \sin \omega t. \quad (3)$$

Напряжение другой частоты, приложенное к вертикальным отклоняющим пластинам осциллографа, вызывает отклонение луча

$$y = \sin \frac{N_2}{N_1} \omega t. \quad (4)$$

Результирующее отклонение луча описывается сов-
местным решением (3) и (4)

$$y = \sin \frac{N_2}{N_1} \arcsin x. \quad (5)$$

Уравнение (5) является общим видом уравнения фи-
гур Лиссажу. Найдем теперь число точек пересечения
кривой (5) с прямой, параллельной оси y . Для этого ре-
шим совместно уравнение (5) с уравнением прямой

$$x = C. \quad (6)$$

Для любого значения C в пределах $-1 < C < 1$
 $\arcsin C$ имеет два значения, а именно:

$$\arcsin C = \alpha + 2\pi n \quad (7)$$

$$\arcsin C = \pi - \alpha + 2\pi n, \quad (8)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$. Эти два значения соответствуют пря-
мому и обратному лучам на экране осциллографа. Обычно
при работе на установке прямой луч совмещается с об-
ратным и поэтому в дальнейшем будем рассматривать
только одно значение (7).

При $N_1 = 1$ из (5), (6) и (7) имеем для любого n только
одно решение

$$y_1 = \sin N_2 (x + 2\pi n) = \sin (N_2 x + 2\pi n N_2) = \sin N_2 x.$$

т. е. имеем однолинейную фигуру.

При $N_1 = m$ получим m решений, а именно:
для $n = 1$,

$$y_1 = \sin \frac{N_2}{m} (\alpha + 2\pi) = \sin \left(\frac{N_2 \alpha}{m} + \frac{N_2 2\pi}{m} \right);$$

для $n = 2$

$$y_2 = \sin \frac{N_2}{m} (\alpha + 2\pi 2) = \sin \left(\frac{N_2 \alpha}{m} + \frac{N_2 4\pi}{m} \right);$$

для $n = m$

$$y_m = \sin \frac{N_2}{m} (\alpha + 2\pi m) = \sin \left(\frac{N_2 \alpha}{m} + 2\pi N_2 \right) = \sin \frac{N_2 \alpha}{m};$$

для $n = m + 1$

$$\begin{aligned} y_{m+1} &= \sin \left(\frac{N_2 \alpha}{m} + 2\pi N_2 + \frac{2\pi N_2}{m} \right) = \\ &= \sin \left(\frac{N_2 \alpha}{m} + \frac{2\pi N_2}{m} \right) = y_1, \end{aligned}$$

что соответствует m -линейной фигуре Лиссажу.

Литература

1. Ю. М. Элькин д. Установка для проверки час-
тотомеров с использованием несущей частоты радиостан-
ции. Электричество, № 9, 1949.

2. В. С. Габель. Методы междулабораторных
сравнений эталонов частоты. Выходящие частоты изме-
рения и исследования под ред. В. С. Габеля, вып. 12 (28),
Стандартгиз, 1936.

3. М. С. Нейман. Стабилизация частоты в радио-
технике, М., Радиоиздат, 1937.

[25. 8. 1950]



Кажущаяся мощность трехфазной системы

Кандидат техн. наук Л. С. ЛУРЬЕ

Москва

Коэффициент мощно-
сти k определяют как
отношение активной мощ-
ности P_a к кажущейся
мощности P :

$$k = \frac{P_a}{P}. \quad (1)$$

Обычно пользуются
допущением, что трех-
фазная система симмет-
рична и кажущаяся мощность однозначно нахо-
дится из уравнения

$$P = 3U_\phi I_\phi = \sqrt{3} UI = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}. \quad (2)$$

В выражении (2) U_ϕ, I_ϕ и U, I — фазные и ли-
нейные напряжения и токи, P_a и P_r — активная
и реактивная мощности.

Однако ограничиться рассмотрением симмет-
ричных систем нельзя. Практически всегда стал-
киваются с существенной неравномерностью
нагрузки фаз сетей низкого напряжения, питаю-
щих бытовые токоприемники, и при питании

Рассматривается кажущаяся мощность трехфазной
системы, определяемая как наибольшая возможная
активная мощность, которая может быть передана
при заданных напряжениях и потерях в линии.
Устанавливается, в каком соотношении находится
кажущаяся мощность трехфазной системы с актив-
ной и реактивной мощностями. Вводится новый кри-
терий несимметрии — мощность несимметрии, непо-
средственно определяющая потери в системе вслед-
ствие несимметрии приемника. Показывается, что
мощность несимметрии и кажущаяся мощность
трехфазной системы обладают свойством сохранения.

однофазных электропечей,
электросварочных уста-
новок и других однофаз-
ных приемников.

Выражение (1) пока-
зывает, что задача должна
свестись к решению воп-
роса о кажущейся мощ-
ности, что и составляет
содержание статьи.

Предполагается, что
напряжения и токи синусоидальны.

Кажущаяся мощность трехфазной системы.
При несимметричном приемнике векторная мощ-
ность $P_s = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}$ не характеризует за-
грузки системы, а следовательно, и потерь
в ней.

Действительно, пусть (рис. 1) индуктивная
и емкостная ветви имеют равные сопротивления
 $X_{CA} = X_{BC} = X$, активной составляющей кото-
рых можно пренебречь. Линейные напряжения
симметричны. Из векторной диаграммы можно
найти, что линейные токи связаны равенством

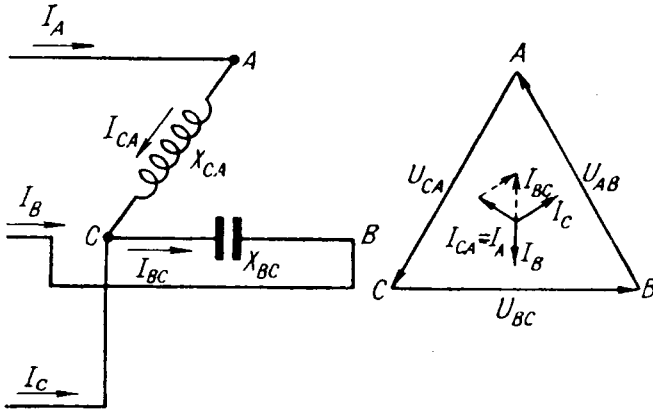


Рис. 1.

$I_A = I_B = I_C = I = \frac{U}{X}$ и имеют обратный порядок следования фаз. $I_{CA} = I_{BC} = I$, поэтому

$$P_a = U_{CA} I_{CA} \cos\left(-\frac{\pi}{2}\right) + U_{LC} I_{BC} \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

и

$$P_r = U_{CA} I_{CA} \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) + U_{BC} I_{EC} \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0,$$

а следовательно, $P_s = 0$, хотя каждый линейный провод нагружен током I .

Возникает необходимость иметь другое определение кажущейся мощности.

Для однофазной и симметричной трехфазной цепей смысл понятия кажущейся мощности состоит, в частности, в том, что кажущаяся мощность является мерой максимальной активной мощности, которая может быть передана при заданных потерях в сети, определяемых действующим напряжением и протекающим током. Поэтому коэффициент мощности характеризует использование системы, а величина, обратная коэффициенту мощности, является мерой увеличения термической нагрузки вследствие сдвига по фазе между напряжением и током.

Несимметричный приемник с сопротивлениями в фазах Z_A , Z_B и Z_C (рис. 2) вызывает в трехфазной линии потери активной мощности

$$\Delta P_a = (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) r + I_H^2 r_H; \quad (3)$$

здесь I_A , I_B , I_C — линейные токи;

r — активное сопротивление провода;

I_H — ток в нулевом проводе;

r_H — активное сопротивление нулевого провода.

Определение кажущейся мощности этого приемника как максимальной активной мощности $P_{\max}$, которую можно получить при заданных линейных напряжениях при условии, что мощность, теряемая в линии, остается равной ΔP_a (3), дано в приложении.

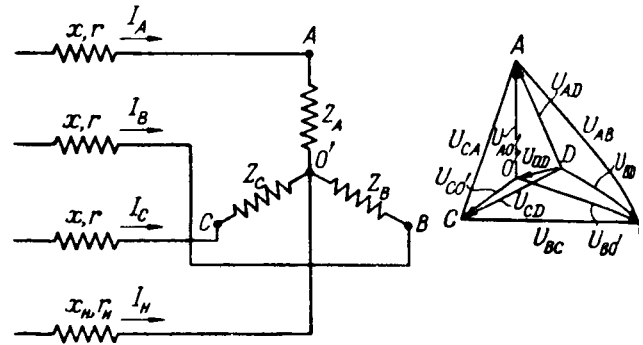


Рис. 2.

Анализ приводит к формуле, предложенной Бухгольцем [Л. 4]:

$$P_T = \sqrt{U_{AO}^2 + U_{BO}^2 + U_{CO}^2} \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_H^2}$$

[см. приложение (14)].

Однако эта формула уточнена нами в отношении величины I_{Hnp} .

При выводе формулы (14), в отличие от Кваде [Л. 5], напряжения фаз приемника не связываются дополнительными условиями, не имеющими физического смысла. Исходными условиями служат заданные напряжения питающей системы (U_{AB} , U_{BC} , U_{CA}), а следовательно, потери, зависящие от квадрата напряжения (потери в стали трансформаторов, диэлектриках), и заданные потери, зависящие от квадрата тока.

Формула годится также для случая несинусоидальных токов.

Мощность несимметрии. В приложении показано, что мощность $P_T = \sqrt{P_a^2 + P_r^2 + P_n^2}$, где P_n мы будем называть *мощностью несимметрии*.

Из (18) (приложение) следует, что $P_n = 0$ если

$$I_H = 0; \quad (4)$$

$$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C \quad (4a)$$

и

$$\frac{U_{AO}}{I_A} = \frac{U_{BO}}{I_B} = \frac{I_{CO}}{I_C}, \quad (46)$$

а из (18 а) следует, что $P_n = 0$, если

$$I_0 = 0; \quad (4b)$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad (4r)$$

и

$$\frac{U_1}{I_1} = -\frac{U_3}{I_3}. \quad (4d)$$

Величина P_n исчезает, когда три линейных тока образуют замкнутый треугольник, подобный треугольнику напряжений U_{AO} , U_{BO} , U_{CO} .

¹ Подобие и в смысле совпадения порядка следования фаз, так как $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$.

Согласно (4г) и (4д) это имеет место только при наличии симметричного приемника $Z_A = Z_B = Z_C$, так как напряжения положительной и отрицательной последовательностей должны определяться соответственно только токами положительной и отрицательной последовательностей [Л. 6, гл. 3, § 21].

Под несимметричным приемником будем подразумевать такой приемник, у которого полные сопротивления для прямой и обратной составляющих не равны друг другу и который обуславливает появление мощности P_n . Вращающиеся машины при асимметрии подведенного напряжения должны рассматриваться с этой точки зрения как несимметричные приемники.

В общем случае для компенсации P_n требуется полное симметрирование фазных сопротивлений нагрузки. При симметрии подведенного напряжения ($U_2 = 0$) для трехпроводной трехфазной системы формула (18а) упрощается, принимая вид:

$$P_n = 3U_1 I_2.$$

В этом случае $P_n = 0$, если скомпенсированы токи обратной последовательности или, другими словами, уравновешена система. Такое уравновешивание получается при определенных соотношениях между активными и реактивными сопротивлениями в отдельных фазах [Л. 7].

Формула (17) показывает, что величина P_n является такой же составляющей кажущейся мощности P_T , как и мощности P_a и P_r .

Потери активной мощности в линиях симметричной трехфазной системы

$$\Delta P_a = 3I^2 r = \frac{P_a^2}{U^2} r = \frac{P_a^2 + P_r^2}{U^2} r \quad (5)$$

определяются активной и реактивной мощностями.

Формула (14) и соотношение (17) позволяют установить, от каких факторов зависят потери активной мощности в трехфазной линии несимметричной системы:

$$\begin{aligned} \Delta P_a &= (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) r + I_H^2 r_H = \\ &= (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_H^2 \gamma^2) r = \frac{P_T^2}{U_{AO}^2 + U_{BO}^2 + U_{CO}^2} r = \\ &= \frac{P_a^2 + P_r^2 + P_n^2}{U_{AO}^2 + U_{BO}^2 + U_{CO}^2} r, \end{aligned} \quad (6)$$

т. е. потери зависят как от активной и реактивной мощностей, так и мощности несимметрии P_n .

P_n непосредственно определяет увеличение потерь вследствие несимметрии приемника, так же как величина P_r характеризует увеличение потерь в результате сдвига по фазе между фазными напряжениями и токами.

7 Электричество, № 1.

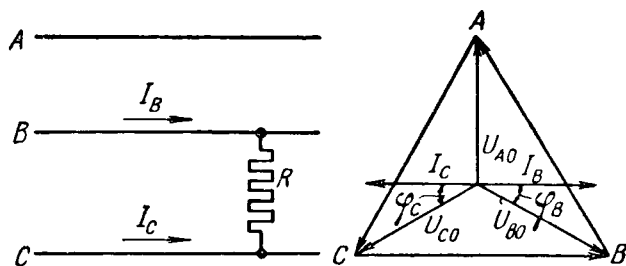


Рис. 3.

Применяя введенное понятие мощности несимметрии к примеру на рис. 1, можно тотчас же установить природу нагрузки. Действительно,

так как $I_1 = 0$ и $U_2 = 0$, $P_n = 3U_1 I_2 = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I = \sqrt{3} UI$,

$P_a = 0$, $P_r = 0$, то $P_T = P_n = \sqrt{3} UI$. Здесь нагрузка обусловлена только несимметрией приемника.

Другой пример (рис. 3). Приемник в виде активного сопротивления, включенного между двумя фазами, линейные напряжения симметричны. В этом случае

$$U_{AO} = U_{BO} = U_{CO} = U_\phi; \quad I_B = I_C = I; \quad I_A = 0;$$

$$I_H = 0; \quad I = \frac{\sqrt{3} U_\phi}{R}; \quad \varphi_B = -\varphi_C = 30^\circ;$$

активная мощность приемника

$$P_a = U_{BO} I_B \cos \varphi_B + U_{CO} I_C \cos \varphi_C = \sqrt{3} U_\phi I;$$

реактивная мощность приемника

$$P_r = U_{BO} I_B \sin \varphi_B + U_{CO} I_C \sin \varphi_C = 0.$$

Мощность несимметрии приемника, определяемая (18),

$$\begin{aligned} P_n^2 &= U_{AO}^2 I_B^2 + U_{BO}^2 I_A^2 - 2U_{AO} I_B U_{BO} I_A \cos(\varphi_A - \varphi_B) + \\ &+ U_{BO}^2 I_C^2 + U_{CO}^2 I_B^2 - 2U_{BO} I_C U_{CO} I_B \cos(\varphi_B - \varphi_C) + \\ &+ U_{AO}^2 I_C^2 + U_{CO}^2 I_A^2 - 2U_{AO} I_C U_{CO} I_A \cos(\varphi_A - \varphi_C) = \\ &= 4U_\phi^2 I^2 - 2U_\phi^2 I^2 \cos 60^\circ = 3U_\phi^2 I^2. \end{aligned}$$

Следовательно, $P_n = \sqrt{3} U_\phi I$, т. е. равна активной мощности; $P_T = \sqrt{3 U_\phi^2 I^2 + 3 U_\phi^2 I^2} = \sqrt{6} U_\phi I$;

$k_T = \frac{\sqrt{3} U_\phi I}{\sqrt{6} U_\phi I} = 0,707$. В данном примере только от

несимметрии приемника возникают потери, равные потерям при питании симметричного приемника, состоящего из активных сопротивлений, поглощающих ту же мощность.

Коэффициент мощности несимметричного приемника всегда меньше единицы. Действительно, даже при чисто активной нагрузке

$$k_T = \frac{P_a}{P_T} = \frac{P_a}{\sqrt{P_a^2 + P_n^2}} < 1.$$

Величина, обратная коэффициенту мощности трехфазной системы, служит мерой увеличения

нагрузки вследствие сдвига по фазе между напряжениями и токами и несимметрии.

О сохранении мощности несимметрии и кажущейся мощности P_r . Формула (18) может быть преобразована и приведена к следующему виду:

$$P_n = \sqrt{\sum_{\substack{m,n=A,B,C \\ m+n}} [P_{nml}^2 + P_{nml}^{\prime\prime 2}] + \sum_{m=ABC} [P_{nmH}^2 + P_{nmH}^{\prime\prime 2}]} \quad (7)$$

Здесь

$$\left. \begin{aligned} P'_{nml} &= U_{m0} I_n \cos(\alpha_m + \beta_n) - \\ &\quad - U_{n0} I_m \cos(\alpha_n + \beta_m), \\ P''_{nml} &= U_{m0} I_n \sin(\alpha_m + \beta_n) - \\ &\quad - U_{n0} I_m \sin(\alpha_n + \beta_m), \\ P'_{nmH} &= U_{m0} I_H \gamma \cos(\alpha_m + \beta_H), \\ P''_{nmH} &= U_{m0} I_H \gamma \sin(\alpha_m + \beta_H), \end{aligned} \right\} \begin{aligned} (m, n = A, B, C) \\ (m \neq n), \\ (m = A, B, C), \end{aligned} \quad (8)$$

где α_m, α_n — начальные фазы напряжений;

$\beta_m, \beta_n, \beta_H$ — начальные фазы токов.

Подстановка выражений (8) в (7) подтверждает правильность такого преобразования.

Подобно тому, как для получения результирующих значений активных и реактивной мощностей необходимо алгебраически сложить P_a и P_r отдельных элементов системы, также полная мощность несимметрии определится по (7), если сначала алгебраически просуммировать составляющие (8) тех же элементов. В этом состоит важное свойство сохранения составляющих мощности несимметрии, позволяющее оперировать с этими составляющими так же, как с P_a и P_r .

Свойство сохранения составляющих мощности несимметрии (8) справедливо всегда для трехфазных трехпроводных систем, а для четырехпроводных систем при том условии, что $\gamma = \sqrt{\frac{r_H}{r}}$ для отдельных участков цепи имеет одно и то же значение.

Структура формулы (7) позволяет считать P_n модулем вектора многомерного пространства с координатами

$$\begin{aligned} P'_{nAB}, P''_{nAB}, P'_{nBC}, P''_{nBC}, P'_{nCA}, P''_{nCA}, \\ P'_{nAH}, P''_{nAH}, P'_{nBH}, P''_{nBH}, P'_{nCH}, P''_{nCH}. \end{aligned}$$

На этом основании, и учитывая установленное свойство, заключаем: мощность несимметрии сложной системы является модулем векторной суммы векторов несимметрии отдельных участков системы

$$(\bar{P}_{n1}, \bar{P}_{n2}, \bar{P}_{n3} \dots)$$

$$\bar{P}_{nrez} = |\bar{P}_{nrez}| = |\bar{P}_{n1} + \bar{P}_{n2} + \bar{P}_{n3} + \dots|,$$

и что можно говорить о свойстве сохранения мощности несимметрии и геометрически.

Кажущаяся мощность трехфазной системы P_r согласно (17) есть модуль вектора $\bar{P}_r$, координатами которого являются указанные выше координаты вектора $\bar{P}_n$, а также дополнительные координаты P_a и P_r . Следовательно, и для P_r можно написать:

$$|\bar{P}_{rrez}| = |\bar{P}_{r1} + \bar{P}_{r2} + \bar{P}_{r3} + \dots|. \quad (9)$$

Мощность несимметрии — новый критерий несимметрии. Часто считают, что при неравномерной нагрузке можно судить об использовании электрических устройств и потерях в них, если определить активную и реактивную мощности, а также найти степень неуравновешенности

$$\varepsilon_p = \frac{P_{пульс}}{P_a}$$

или найти коэффициент несимметрии по току напряжению

$$\varepsilon_U = \frac{U_2}{U_1}; \quad \varepsilon_I = \frac{I_2}{I_1}.$$

$P_{пульс}$ — амплитуда переменной составляющей мгновенной мощности трехфазной цепи, определяемая для трехпроводной системы формулой [Л. 3, стр. 384]

$$P_{пульс} = 3 \sqrt{U_1^2 I_2^2 + U_2^2 I_1^2 + 2U_1 I_2 U_2 I_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (10)$$

Не предпреля значения коэффициентов ε_U и ε_I для оценки условий работы генераторов, двигателей, релейной защиты, линии связи и т.д. при несимметрии токов и напряжений, покажем, что они не могут быть привлечены для определения влияния несимметрии на потери в системе.

Действительно, если выполняются условия (4в), (4г) и (4д), $P_n = 0$ и кажущаяся мощность определяется только активной и реактивной мощностями, тогда как $P_{пульс} = 3(U_1 I_2 + U_2 I_1)$ имеет максимальное значение. Только в частных случаях, когда одна из симметричных систем напряжений или токов (прямая или обратная) равняется нулю, тогда $P_{пульс} = P_n$.

Аналогично получается и для коэффициентов ε_U и ε_I . Напряжение U_1 и ток I_1 могут быть сколько угодно малыми, а следовательно, ε_U и ε_I сколько угодно большими, но если имеют место равенства (4в), (4г) и (4д), кажущаяся мощность

$$P_r = P_a = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}.$$

Для правильного решения вопроса о влиянии несимметрии приемника на потери в системе следует использовать новый критерий несимметрии — мощность несимметрии P_n .

Кажущаяся мощность P_r выгодно отличается от других существующих определений кажущейся мощности трехфазной цепи тем, что P_r полностью учитывает увеличение потерь вследствие

вие несимметрии приемника. Величина P_T может быть определена по показаниям амперметров и вольтметров. Мощность несимметрии P_n может быть также определена, если использовать данные измерения мощностей P_a , P_r и P_T .

Зная кажущуюся мощность P_T и наиболее нагруженную фазу, можно оценить использование линий и трансформаторов. Что же касается располагаемой мощности генератора при несимметричных режимах, то она зависит в сильной степени от токов обратной последовательности [Л. 8] и не может быть связана с понятием кажущейся мощности.

Известно, какое удобство дает и какое широкое применение получило оперирование с нагрузками в виде активных и реактивных мощностей. При расчете систем с несимметричными токами и напряжениями могут быть также использованы активные и реактивные мощности системы, причем для определения потерь необходимо учесть третью составляющую P_n величины P_T .

Заклучение. 1. Коэффициент мощности несимметричного приемника, равный отношению активной мощности к кажущейся мощности трехфазной системы P_T , может быть использован при определении потерь энергии в сети.

2. Кажущаяся мощность P_T есть корень квадратный из суммы трех квадратов: активной мощности, реактивной мощности и мощности несимметрии P_n .

3. Мощность несимметрии P_n обладает в трехфазных трехпроводных цепях и в некоторых случаях в четырехпроводных цепях важным свойством сохранения и характеризует добавочные потери в системе, обусловленные несимметрией приемника.

4. Реактивная мощность P_r несимметричного трехфазного приемника (так же как в однофазной и симметричной трехфазной цепях) определяет потери, обусловленные только сдвигом по фазе напряжений и токов.

5. Векторная мощность P_s может рассматриваться как частное выражение величины P_T .

В заключении автор считает своим долгом отметить, что при разработке освещенного вопроса он воспользовался рядом ценных указаний и советов канд. техн. наук, доц. С. В. Страхова.

Приложение. Для определения кажущейся мощности несимметричной трехфазной системы как максимальной активной мощности следует мысленно заменить приемник рис. 2 такой нагрузкой (рис. 4), при которой линейные токи I_a, I_b, I_c , ток нулевого провода I_n и фазные напряжения U_a, U_b, U_c , являясь функциями переменных сопротивлений Z_a, Z_b, Z_c , могут принять требуемые значения.

Активная мощность нагрузки

$$P_a = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c, \quad (1)$$

где $\varphi_a, \varphi_b, \varphi_c$ — углы сдвига между напряжениями U_a, U_b, U_c и токами I_a, I_b, I_c . Для упрощения выкладок в дальнейшем рассматриваем ток и напряжение как векторы в системе координат x, y .

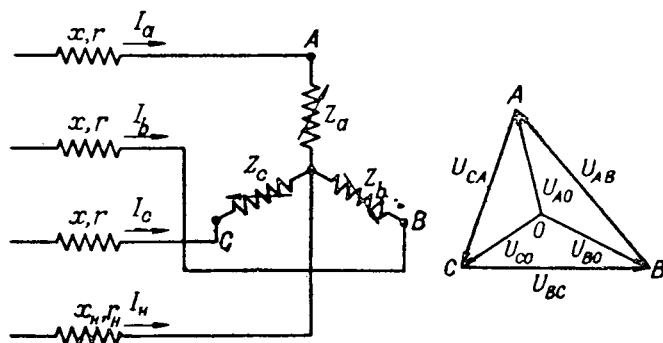


Рис. 4.

На основании (1) P_a можно представить как сумму скалярных произведений фазных векторов напряжений $\bar{U}_a, \bar{U}_b, \bar{U}_c$ на токи $\bar{I}_a, \bar{I}_b, \bar{I}_c$:

$$P_a = \bar{U}_a \bar{I}_a + \bar{U}_b \bar{I}_b + \bar{U}_c \bar{I}_c. \quad (2)$$

Токи связаны между собой двумя дополнительными соотношениями:

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c + \bar{I}_n = 0, \quad (3)$$

$$(\bar{I}_a^2 + \bar{I}_b^2 + \bar{I}_c^2) r + \bar{I}_n^2 r_H = \Delta P = (\bar{I}_a^2 + \bar{I}_b^2 + \bar{I}_c^2) r + \bar{I}_n^2 r_H. \quad (4)$$

Деля выражения (4) на r , получим:

$$\bar{I}_a^2 + \bar{I}_b^2 + \bar{I}_c^2 + \bar{I}_n^2 \gamma^2 = \Delta P_{np} = \bar{I}_a^2 + \bar{I}_b^2 + \bar{I}_c^2 + \bar{I}_n^2 \gamma^2. \quad (5)$$

где

$$\gamma^2 = \frac{r_H}{r}; \quad \Delta P_{np} = \frac{\Delta P}{r}; \quad \bar{I}_n^2 \gamma^2 = \bar{I}_n^2 \frac{r_H}{r}.$$

Для определения необходимых условий относительного максимума функций следует [Л. 2, стр. 327] составить вспомогательную функцию:

$$F = \bar{U}_a \bar{I}_a + \bar{U}_b \bar{I}_b + \bar{U}_c \bar{I}_c + \lambda (\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c + \bar{I}_n) + \mu (\bar{I}_a^2 + \bar{I}_b^2 + \bar{I}_c^2 + \bar{I}_n^2 \gamma^2 - \Delta P_{np}) \quad (6)$$

и приравнять нулю частные производные этой функции по всем переменным, от которых она зависит. Рассмотрим часть этих уравнений, предварительно выразив F через координаты векторов, учитывая, что векторы могут быть изображены на плоскости:

$$F = U_{ax} I_{ax} + U_{ay} I_{ay} + U_{bx} I_{bx} + U_{by} I_{by} + U_{cx} I_{cx} + U_{cy} I_{cy} + \lambda_x I_{ax} + \lambda_y I_{ay} + \lambda_x I_{bx} + \lambda_y I_{by} + \lambda_x I_{cx} + \lambda_y I_{cy} + \lambda_x I_{nx} + \lambda_y I_{ny} + \mu (I_{ax} I_{ax} + I_{ay} I_{ay} + I_{bx} I_{bx} + I_{by} I_{by} + I_{cx} I_{cx} + I_{cy} I_{cy} + I_{nx} I_{nx} \gamma^2 + I_{ny} I_{ny} \gamma^2 - \Delta P_{np}). \quad (6a)$$

Условиями максимума активной мощности P_a , представленной уравнением (2), являются:

$$\frac{\partial F}{\partial I_{mx}} = U_{mx} + \lambda_x + 2\mu I_{mx} = 0 \quad (m = a, b, c); \quad (7)$$

$$\frac{\partial F}{\partial I_{my}} = U_{my} + \lambda_y + 2\mu I_{my} = 0 \quad (m = a, b, c); \quad (8)$$

$$\frac{\partial F}{\partial I_{nx}} = \lambda_x + 2\mu \gamma^2 I_{nx} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial I_{ny}} = \lambda_y + 2\mu \gamma^2 I_{ny} = 0. \quad (10)$$

Дополнительным условием максимума активной мощности P_a является равенство нулю тока в нулевом проводе I_n . Действительно, известно, что активная мощность

однофазной цепи имеет максимальное значение при заданных эффективных значениях напряжения и тока, если отношение мгновенного значения напряжения u к мгновенному значению тока i для любого момента времени остается постоянным $\frac{u}{i} = R$. Для трехфазной цепи на основании этого соотношения должно иметь место равенство:

$$\frac{u_a}{i_a} = \frac{u_b}{i_b} = \frac{u_c}{i_c} = \frac{u_n}{i_n} = R, \quad (11)$$

где $u_a, u_b, u_c, i_a, i_b, i_c$ — соответственно мгновенные значения фазных напряжений и токов;
 u_n — мгновенное значение напряжения нулевого провода относительно узловой точки приемника;
 i_n — мгновенное значение тока в нулевом проводе.

Нулевой провод соединен с узловой точкой $u_n = 0$, следовательно $i_n = 0$.

Поэтому согласно (9) и (10) получаем $\lambda_x = \lambda_y = 0$, а на основании (7) и (8), переходя от координат к векторам, получим:

$$\dot{U}_m + 2\mu \bar{I}_m = 0 \quad (m = a, b, c). \quad (12)$$

Сумма трех уравнений (12) дает:

$$\bar{U}_a + \bar{U}_b + \bar{U}_c = 0. \quad (13)$$

Таким образом, для получения $P_{\max}$ векторы фазных напряжений должны образовывать замкнутый треугольник, а следовательно, должны равняться напряжениям $\bar{U}_{AO}, \bar{U}_{BO}, \bar{U}_{CO}$ (рис. 4), где точка O — центр тяжести треугольника линейных напряжений [Л. 3, стр. 207 и 376]. Точку O называют искусственной нейтралью в отличие

При определении активной и реактивной мощности приемника не существенен выбор точки, относительно которой на топографической диаграмме (рис. 2) находят напряжения начал трех фаз (точки A, B, C) и напряжение естественной нейтрали (точка O'). Действительно, взяв эти напряжения относительно произвольной точки D получим, что сумма

$$\begin{aligned} \sum_{\substack{m=A,B,C,O' \\ n=A,B,C,I}} \bar{U}_{mD} \bar{I}_n &= \bar{U}_{AD} \bar{I}_A + \bar{U}_{BD} \bar{I}_B + \bar{U}_{CD} \bar{I}_C + \bar{U}_{O'D} \bar{I}_H = \\ &= (\bar{U}_{AO'} + \bar{U}_{O'D}) \bar{I}_A + (\bar{U}_{BO'} + \bar{U}_{O'D}) \bar{I}_B + (\bar{U}_{CO'} + \\ &+ \bar{U}_{O'D}) \bar{I}_C + \bar{U}_{O'D} \bar{I}_H = \sum_{m=A,B,C} \bar{U}_{mO'} \bar{I}_m + \bar{U}_{O'D} (\bar{I}_A + \\ &+ \bar{I}_B + \bar{I}_C + \bar{I}_H) = \sum_{m=A,B,C} \bar{U}_{mO'} \bar{I}_m, \end{aligned}$$

есть активная мощность приемника P_a , так как векторы $\bar{U}_{AO'}, \bar{U}_{BO'}, \bar{U}_{CO'}$ представляют действительные фазные напряжения. Точно так же можно показать, что

$$|\Sigma [\bar{U}_{mD} \bar{I}_m]| = |\Sigma [\bar{U}_{mO'} \bar{I}_m]| = P_r.$$

В качестве точки D может быть выбрана искусственная нейтраль O , тогда

$$P_a^2 + P_r^2 = (P_{aAO} + P_{aBO} + P_{aCO})^2 + (P_{rAO} + P_{rBO} + P_{rCO})^2, \quad (15)$$

где $P_{aAO} = U_{AO} I_A \cos \varphi_A, P_{rAO} = U_{AO} I_A \sin \varphi_A$ и т. д. (16)

Сравняя (14) и (16), после подстановки в (15) значения отдельных мощностей из (16) получим:

$$P_T = \sqrt{P_a^2 + P_r^2 + P_n^2}, \quad (17)$$

где

$$P_n = \sqrt{\sum_{\substack{m,n=A,B,C \\ m \neq n}} [U_m^2 I_n^2 + U_n^2 I_m^2 - 2U_m I_n U_n I_m \cos(\varphi_m - \varphi_n)] + \sum_{m=A,B,C} U_m^2 I_{Hnp}^2}. \quad (18)$$

от действительной нейтрали O' , которая определяет потенциал общей точки соединения концов трех фаз приемника (рис. 2).

Используя равенства: $\bar{U}_a = \bar{U}_{AO}, \bar{U}_b = \bar{U}_{BO}, \bar{U}_c = \bar{U}_{CO}$, а также (12), получаем после подстановки в (2):

$$\begin{aligned} P_{\max} &= -\frac{1}{2\lambda} (U_{AO}^2 + U_{BO}^2 + U_{CO}^2) \text{ или } P_{\max} = \\ &= -2\mu (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) = -2\mu (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_{Hnp}^2). \end{aligned}$$

Таким образом, максимальная активная мощность, которую мы называем кажущейся мощностью трехфазной системы P_T , выражается следующим образом:

$$P_T = \sqrt{U_{AO}^2 + U_{BO}^2 + U_{CO}^2} \cdot \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_{Hnp}^2}. \quad (14)$$

Мощность P_T можно также выразить через линейные напряжения:

$$P_T = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2} \sqrt{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_{Hnp}^2},$$

Для получения ряда важных следствий установим, какое соотношение существует между кажущейся мощностью P_T и мощностями P_a и P_r .

Величину P_n можно также выразить через симметричные составляющие систем напряжений и токов. Для этого используем известные соотношения:

$$\frac{1}{3} (U_{AO}^2 + U_{BO}^2 + U_{CO}^2) = U_1^2 + U_2^2 \text{ и } \frac{1}{3} (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) = I_1^2 + I_2^2 + I_0^2;$$

здесь U_1, I_1, U_2, I_2 — напряжения и токи прямой и обратной последовательностей; I_0 — ток нулевой последовательности.

Напряжения U_{AO}, U_{BO}, U_{CO} образуют замкнутый треугольник. Поэтому U_0 — напряжение нулевой последовательности равно нулю.

Сделаем соответствующую замену в формуле (14) тогда

$$P_T^2 = 3 (U_1^2 + U_2^2) [3 (I_1^2 + I_2^2 + I_0^2) + 9 I_0^2], \quad (14a)$$

где $\gamma^2 = \frac{r_n}{r}$, как указывалось выше, в то же время

$$P_a^2 + P_r^2 = (3U_1 I_1 \cos \varphi_1 + 3U_2 I_2 \cos \varphi_2)^2 + (3U_1 I_1 \sin \varphi_1 + 3U_2 I_2 \sin \varphi_2)^2. \quad (15a)$$

Из сравнения (14a) и (15a) получаем второе выражение для P_n .

$$P_n = \sqrt{9 [U_1^2 I_2^2 + U_2^2 I_1^2 - 2U_1 I_2 U_2 I_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + (U_1^2 + U_2^2) I_0^2 (1 + 3\gamma^2)]}. \quad (18a)$$

Литература

1. Л. С. Лурье. Кажущаяся мощность несимметричной и несинусоидальной трехфазной системы. Диссертация, МЭИ, 1948.
2. И. Н. Бронштейн и К. А. Семендяев. Справочник по математике, ОГИЗ, стр. 556, 1948.
3. К. А. Круг. Основы электротехники, т. II, Госэнергоиздат, стр. 634, 1946.
4. F. Buchholz, Die Darstellung der Begriffe „Scheinleistung“ und Scheinarbeit bei Mehrphasenstrom. Elektro-Journal, September, стр. 15, 1921.

5. W. Quade. Über Wechselströme mit beliebige Kurvenform in Dreiphasensystemen. A. f. El., стр. 793, 1934.
6. О. Даль. Электрические цепи, Госэнергоиздат, стр. 406, 1933.
7. Л. А. Цейтлин. К вопросу об уравнивании трехфазных систем. Труды Ленинградского промышленного института, № 5, стр. 17, Электротехника, вып. I, 1939.
8. И. А. Сыромятников. Определение допустимой нагрузки синхронных машин при несимметричных режимах, Госэнергоиздат, стр. 64, 1944.

[18. 4. 1950]



Метод расчета принужденного тока от периодической э. д. с. любой формы

О. М. БОГАТЫРЕВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Если в линейной электрической цепи действует несинусоидальная, но периодическая э. д. с., то принужденный ток, называемый также установившимся, в какой-нибудь ветви можно находить различными методами.

Во-первых, можно представить всякую несинусоидальную периодическую э. д. с. в виде гармонического ряда Фурье, после чего, определяя индуктивные и емкостные сопротивления в цепи для каждой гармоники в отдельности, провести расчет токов каждой гармоники порознь, а затем суммировать последние. Полученные таким образом токи представятся в виде рядов Фурье. Недостатком этого метода является то, что всегда приходится ограничиваться небольшим числом гармоник, что вносит некоторую ошибку. Кроме того, кривую изменения найденного тока построить довольно затруднительно, так как надо складывать сдвинутые синусоиды разных частот.

Второй, наиболее известный, метод, дающий кривую тока не в виде гармонического ряда, а в виде точного выражения, заключается в применении специального преобразования Лапласа к уравнению Кирхгофа (в данном случае преобразование Лапласа проводится интегрированием от $t=0$ до $t=T$, где T —период э. д. с., а не от 0 до ∞ , как обычно), в решении уравнений в операторном виде и, таким образом, получении искомого преобразованного тока $I_T(p)$. Дальнейшее превращение его в функцию времени производится по формуле:

$$i(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_L \frac{I_T(p)e^{pt}}{1 - e^{-pT}} dp, \quad (1)$$

где интегрирование проводится в комплексной плоскости вдоль двух прямых, параллельных

Предложен метод вычисления принужденного тока в линейной электрической цепи, в которой действует периодическая, но несинусоидальная э. д. с. Рекомендуемая расчетная формула содержит интеграл в удобных для вычисления пределах. При этом вывод формулы основан на простом применении интеграла Дюамеля.

мнимой оси, так, чтобы особые точки функции $I_T(p)$ лежали вне области, заключенной между указанными прямыми (см. Конторович „Операционное исчисление и...“

глава IX). Этот метод требует специальных знаний теории контурных интегралов в комплексной плоскости и к тому же довольно громоздок при вычислениях.

Третий метод, рекомендуемый в диссертации Т. А. Татур, посвященной специально этому вопросу и названный ею методом кусочных кривых, дает готовую формулу для вычисления принужденного тока. Эта формула для случая разных корней схемы имеет следующий вид:

$$i(t) = \sum_{k=1}^n \frac{e^{p_k t}}{Z'(p_k)(e^{-p_k T} - 1)} \int_t^{t+T} e^{-p_k t} u(t) dt; \quad (2)$$

здесь t —время, отсчитываемое от начала какого-нибудь периода действующего напряжения $u(t)$. Формула справедлива для $0 < t < T$; $Z(p)$ —операторное сопротивление для $I(p)$. Недостатком этой формулы является, помимо того, что вывод ее очень сложен и требует применения теории контурных интегралов и многочисленных преобразований, необходимость интегрировать выражение $[u(t)e^{-p_k t}]$ в неудобных пределах от t до $t+T$ (желательно было бы интегрировать от 0 до T или t). К тому же трудности увеличиваются, если функция $u(t)$ разрывная, что сплошь и рядом имеет место в периодических кривых, и интегрирование надо вести по участкам, не проходя через точку разрыва.

Метод, предлагаемый в настоящей статье, является, повидимому, более легким, чем вышеупомянутые методы. Его преимущество заключается в том, что окончательная расчетная формула содержит интеграл в удобных для вы-

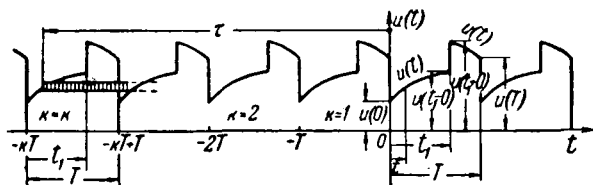


Рис. 1.

числения пределах. Подсчеты, проделанные по формуле Т. А. Татур и по формуле автора, показали преимущество последней для многих различных случаев. Кроме этого вывод формулы совершенно элементарен и основан на физическом представлении явления. Сущность его заключается в применении интеграла Дюамеля к одному из периодически действующих импульсов напряжения, вычислении слагающей искомого тока от этого импульса, а затем суммировании токов от всех импульсов, предшествовавших данному текущему значению t , считая от $t = -\infty$.

Пусть приложенное напряжение имеет вид некоторой периодической кривой с периодом T и с разрывом в одной точке при $t = t_1$ (рис. 1).

Пусть искомым ток связан с приложенным напряжением в операторной форме соотношением

$$I_p = U(p)Y(p),$$

где $Y(p)$ — операторный множитель, называемый переходной проводимостью искомого тока.

Для всякой линейной цепи $Y(p)$ и соответствующая ей $y(t)$ находятся без особого труда на основании уравнений Кирхгофа для цепи в операторной форме и формулы разложения Хевисайда.

Напишем по формуле интеграла Дюамеля ток в момент t [$0 < t < T$] от некоторого k -го импульса напряжения, заключенного между значениями времени $-kT$ и $(-kT + T)$ (рис. 1). Учтем, что $u(t \pm kT) = u(t)$ и что $k > 0$. Получим:

$$\begin{aligned} i_k(t) = & u(0)y(t + kT) + \int_{-kT}^{-kT+t_1-0} u'(\tau)y(t - \tau)d\tau + \\ & + [u(t_1+0) - u(t_1-0)] \cdot y(t + kT - t_1) + \\ & + \int_{-kT+t_1+0}^{-kT+T} u'(\tau)y(t - \tau)d\tau - u(T)y(t + kT - T). \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь, очевидно, $\tau < 0$.

Можно пользоваться непосредственно для каждого конкретного случая формулой (3), после чего получается ток $i_k(t)$, как функция от t и k . Вычисления при этом, вообще говоря, нетрудны.

Однако выражение (3) поддается существенной обработке в общем виде, что приводит в

конце концов к очень удобной для расчета формуле. Подробно эти преобразования даны в приложении II; здесь же приводятся готовые результаты.

Рассмотрим случай разных корней¹. В этом случае переходная проводимость всегда представится в следующем виде:

$$y(t) = y_0 + \sum_{s=1}^n y_s e^{p_s t}. \quad (4)$$

Если подставить ее в выражение (3), провести интегрирование и упростить, то получим ток в момент t ($t > 0$) от k -го импульса в следующем виде:

$$\begin{aligned} i_k(t) = & \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) + \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} - u(T) e^{-p_s T} + \right. \\ & \left. + \int_0^{t_1-0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau + \int_{t_1+0}^T u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right] e^{k p_s T}; \end{aligned} \quad (5)$$

здесь $\sum_{p_s}$ — суммирование по корням схемы p_1, p_2, p_3 и т. д. до p_n ;

$\Delta u(t_1) = u(t_1+0) - u(t_1-0)$ — скачок функции $u(t)$ в момент t_1 . Теперь суммируем токи от всех чередующихся одинаковых импульсов напряжения от $t = -\infty$ до $t = 0$ (соответственно при $k = \infty$ до $k = 1$). Как видим, имеем бесконечно убывающую геометрическую прогрессию с знаменателем $q = e^{p_s T}$. Суммирование дает:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{\infty} i_k(t) = & \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \frac{u(0) + \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} - u(T) e^{-p_s T} + \\ & + \int_0^{t_1-0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau + \int_{t_1+0}^T u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau}{e^{-p_s T} - 1}. \end{aligned} \quad (6)$$

Теперь вычисляем ток от первого импульса после $t = 0$. Обозначим его на первом участке ($0 < t < t_1$) через $i_1(t)$; аналогично, на втором участке ($t_1 < t < T$) через $i_2(t)$. Применяем для этой цели опять формулу интеграла Дюамеля (3). Получим окончательное выражение:

для $0 < t < t_1$

$$\begin{aligned} i_1(t) = & y_0 u(t) + \\ & + \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) + \int_0^t u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right], \end{aligned} \quad (7)$$

¹ Случай равных корней можно легко привести к разным корням, приняв их отличающимися на малую величину ϵ , после чего переходом к пределу, когда $\epsilon \rightarrow 0$, раскрыть неопределенность.

для $t_1 < t < T$

$$i_k(t) = y_0 u(t) + \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) + \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} + \int_0^{t_1-0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau + \int_{t_1+0}^t u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right]. \quad (8)$$

Таким образом, искомый ток примет окончательный вид:

для $0 < t < t_1$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} i_k(t) + i_1(t), \quad (9)$$

для $t_1 < t < T$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} i_k(t) + i_2(t). \quad (10)$$

Эти формулы дают точное выражение для тока в первом периоде от $t=0$ до $t=T$. График его может быть легко построен. В дальнейшем ток будет повторяться периодически с тем же периодом, как и напряжение.

Приложение I. Примеры расчета

Пример 1. Возьмем схему и периодическое напряжение, представленные на рис. 2.

Переходная проводимость для такой схемы будет:

$$Y(p) = \frac{1}{r + pL} \div \frac{1}{r} (1 - e^{p_1 t}) = y(t),$$

где

$$p_1 = -\frac{r}{L}, \quad y_0 = \frac{1}{r}, \quad y_1 = -\frac{1}{r}.$$

Функция $u(t)$ на протяжении периода не имеет разрывов. Аналитическое выражение ее и ее производной будет:

$$u(t) = \frac{U_m}{T} t; \quad u'(t) = \frac{U_m}{T}.$$

Вычисляем неопределенный интеграл

$$\int u'(\tau) e^{-p_1 \tau} d\tau = \int \frac{U_m}{T} e^{-p_1 \tau} d\tau = -\frac{U_m}{p_1 T} e^{-p_1 \tau}.$$

Затем вычисляем определенный интеграл в нужных пределах

$$\int_0^T u'(\tau) e^{-p_1 \tau} d\tau = \frac{U_m}{p_1 T} (1 - e^{-p_1 T}),$$

$$\int_0^t u'(\tau) e^{-p_1 \tau} d\tau = \frac{U_m}{p_1 T} (1 - e^{-p_1 t}).$$



Рис. 2.

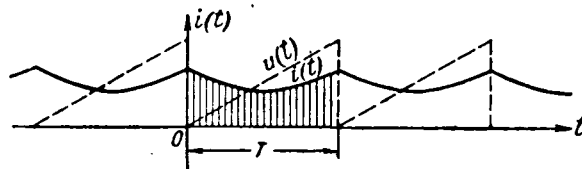


Рис. 3.

Подставляя в (6) и (7), найдем:

$$\sum_{k=1}^{\infty} i_k(t) = \left(-\frac{1}{r}\right) e^{p_1 t} \cdot U_m \left[-e^{-p_1 T} + \frac{1 - e^{-p_1 T}}{p_1 T} \right] \times$$

$$\times \frac{1}{e^{-p_1 T} - 1} = \frac{U_m e^{p_1 t}}{r} \left[\frac{1}{1 - e^{-p_1 T}} + \frac{1}{p_1 T} \right],$$

$$i_1(t) = \frac{U_m}{T} t \left(\frac{1}{r} \right) + \left(-\frac{1}{r}\right) e^{p_1 t} \frac{U_m}{p_1 T} (1 - e^{-p_1 t}) =$$

$$= \frac{U_m}{rT} \left[t - \frac{e^{p_1 t} - 1}{p_1} \right]$$

и подставляя найденные токи в выражение (9), найдем окончательно

$$i(t) = \frac{U_m}{r} \left[\frac{e^{p_1 t}}{1 - e^{-p_1 T}} + \frac{e^{p_1 t}}{p_1 T} + \frac{t}{T} - \frac{e^{p_1 t} - 1}{p_1 T} \right] =$$

$$= \frac{U_m}{r} \left[\frac{t}{T} + \frac{1}{p_1 T} + \frac{e^{p_1 t}}{1 - e^{-p_1 T}} \right].$$

Характер протекания кривой тока показан на рис. 3.

Пример 2. Рассмотрим схему и периодическое напряжение, представленные на рис. 4.

Переходная проводимость для такой схемы

$$Y(p) = \frac{1}{r + \frac{1}{Cp}} = \frac{p}{r(p + \frac{1}{rC})} \div \frac{1}{r} e^{p_1 t} = y(t),$$

где

$$p_1 = -\frac{1}{rC}; \quad y_0 = 0; \quad y_1 = \frac{1}{r}.$$

Как видим, на протяжении периода функция $u(t)$ имеет разрыв в точке $t_1 = \frac{T}{2}$, равный $\Delta u(t_1) = -2U_m$.

Аналитическое выражение для функции и ее производной будет:

$$0 < t < \frac{T}{2}: \quad u(t) = U_m; \quad u'(t) = 0;$$

$$\frac{T}{2} < t < T: \quad u(t) = -U_m; \quad u'(t) = 0.$$

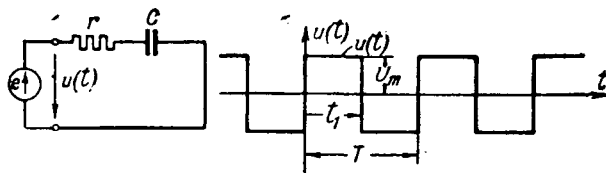


Рис. 4.

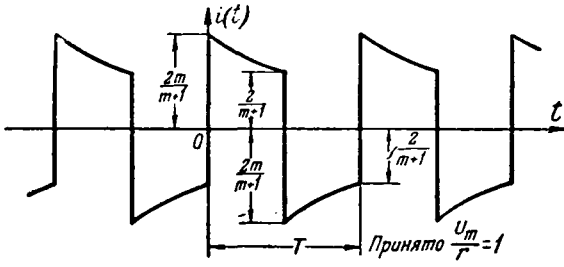


Рис. 5.

Вычисляем интеграл

$$\int u'(\tau) e^{-p_1 \tau} d\tau = 0.$$

Подставляя данные в формулу (6), получим:

$$\sum_{k=1}^{\infty} i_k(t) = \frac{e^{p_1 t}}{r(e^{-p_1 T} - 1)} \left[U_m - 2U_m e^{-\frac{p_1 T}{2}} + U_m e^{-p_1 T} + 0 \right] =$$

$$= \frac{U_m e^{p_1 t} (1 - 2m + m^2)}{r(m^2 - 1)} = \frac{U_m e^{p_1 t} (m-1)}{r(m+1)}.$$

Здесь для краткости обозначено: $e^{-\frac{p_1 T}{2}} = m$.
По формулам (7) и (8) получим:

$$i_1(t) = \frac{1}{r} e^{p_1 t} (U_m) = \frac{U_m}{r} e^{p_1 t},$$

$$i_2(t) = \frac{1}{r} e^{p_1 t} \left[U_m - 2U_m e^{-\frac{p_1 T}{2}} \right] =$$

$$= \frac{U_m}{r} e^{p_1 t} (1 - 2m),$$

и подставляя в формулы (9) и (10), получим окончательно:

$$\text{для } 0 < t < \frac{T}{2}$$

$$i(t) = \frac{U_m (m-1)}{r(m+1)} e^{p_1 t} + \frac{U_m}{r} e^{p_1 t} =$$

$$= \frac{U_m}{r} \left(\frac{2m}{m+1} \right) e^{p_1 t};$$

$$\text{для } \frac{T}{2} < t < T$$

$$i(t) = \frac{U_m (m-1)}{r(m+1)} e^{p_1 t} + \frac{U_m}{r} (1-2m) e^{p_1 t} =$$

$$= \frac{U_m}{r} e^{p_1 t} \left(\frac{-2m^2}{m+1} \right).$$

Кривая тока представлена на рис. 5.

Приложение II. Вывод формул (5), (7), (8).
Ток от k -го импульса в момент t , где $0 < t < T$, представлен выражением (3).

Подставляя в это выражение переходную проводимость, данную выражением (4), получим:

$$i_k(t) = u(0) y_0 + u(0) \sum_{p_s} y_s e^{p_s (t + kT)} +$$

$$+ \int_{-kT}^{-kT + t_1 - 0} u'(\tau) \left[y_0 + \sum_{p_s} y_s e^{p_s (t - \tau)} \right] d\tau +$$

$$+ \Delta U(t_1) \left[y_0 + \sum_{p_s} y_s e^{p_s (t + kT - t_1)} \right] +$$

$$+ \int_{-kT + t_1 + 0}^{-kT + T} u'(\tau) \left[y_0 + \sum_{p_s} y_s e^{p_s (t - \tau)} \right] d\tau -$$

$$- u(T) \left[y_0 + \sum_{p_s} y_s e^{p_s (t + kT - T)} \right] =$$

$$= y_0 \left[u(0) + \int_{-kT}^{-kT + t_1 - 0} u'(\tau) d\tau + \Delta u(t_1) + \right.$$

$$\left. + \int_{-kT + t_1 + 0}^{-kT + T} u'(\tau) d\tau - u(T) \right] +$$

$$+ \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) e^{p_s kT} + \int_{-kT}^{-kT + t_1 - 0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau + \right.$$

$$+ \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} e^{p_s kT} +$$

$$\left. + \int_{-kT + t_1 + 0}^{-kT + T} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau - u(T) e^{-p_s T} e^{p_s kT} \right] =$$

$$= y_0 [u(0) + u(t_1 - 0) - u(0) + \Delta u(t_1) +$$

$$+ u(T) - u(t_1 + 0) - u(T)] +$$

$$+ \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \cdot \left[e^{p_s kT} (u(0) + \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} - u(T) e^{-p_s T}) + \right.$$

$$+ \int_{-kT}^{-kT + t_1 - 0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau +$$

$$\left. + \int_{-kT + t_1 + 0}^{-kT + T} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right] \quad (II)$$

Первая квадратная скобка, очевидно, равна нулю.
Последние 2 интеграла, если заменить переменную $\tau = x - kT$, дадут:

$$\int_0^{t_1 - 0} u'(x) e^{-p_s (x - kT)} dx + \int_{t_1 + 0}^T u'(x) e^{-p_s (x - kT)} dx =$$

$$= e^{p_s kT} \left[\int_0^{t_1 - 0} u'(x) e^{-p_s x} dx + \int_{t_1 + 0}^T u'(x) e^{-p_s x} dx \right].$$

Обозначая переменную интегрирования x буквой τ и подставляя интегралы в выражение (II, 1), получим:

$$i_k(t) = \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) + \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} - u(T) e^{-p_s T} + \int_0^{t_1-0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau + \int_{t_1+0}^T u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right] \cdot e^{p_s kT}. \quad (\text{II}, 2)$$

Это и есть формула (5).

Ток $i_1(t)$ от первого импульса напряжения на первом участке ($0 < t < t_1$) согласно интегралу Дюамеля запишется так:

$$i_1(t) = u(0)y(t) + \int_0^t u'(\tau)y(t-\tau)d\tau.$$

Подставляя сюда выражение для $y(t)$ [см. формулу (4)], будем иметь

$$i_1(t) = u(0) \left[y_0 + \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \right] + \int_0^t u'(\tau) \left[y_0 + \sum_{p_s} y_s e^{p_s(t-\tau)} \right] d\tau = y_0[u(0) + u(t) - u(0)] + \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) + \int_0^t u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right]. \quad (\text{II}, 3)$$

Это и есть формула (7).

Напишем теперь ток на втором участке ($t_1 < t < T$) $i_2(t)$ на основании того же интеграла Дюамеля:

$$i_2(t) = u(0)y(t) + \int_0^{t_1-0} u'(\tau)y(t-\tau)d\tau + \Delta u(t_1)y(t-t_1) +$$

$$+ \int_{t_1+0}^t u'(\tau)y(t-\tau)d\tau.$$

Подставляя сюда $y(t)$ из (4), получим:

$$i_2(t) = y_0 \left[u(0) + \int_0^{t_1-0} u'(\tau)d\tau + \Delta u(t_1) + \int_{t_1+0}^t u'(\tau)d\tau \right] + \sum_{p_s} \left[y_s e^{p_s t} u(0) + \int_0^{t_1-0} u'(\tau) y_s e^{p_s(t-\tau)} d\tau + \Delta u(t_1) y_s e^{p_s(t-t_1)} + \int_{t_1+0}^t u'(\tau) y_s e^{p_s(t-\tau)} d\tau \right]$$

и после простых преобразований получим окончательно

$$i_2(t) = y_0 u(t) + \sum_{p_s} y_s e^{p_s t} \left[u(0) + \Delta u(t_1) e^{-p_s t_1} + \int_0^{t_1-0} u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau + \int_{t_1+0}^t u'(\tau) e^{-p_s \tau} d\tau \right]. \quad (\text{II}, 4)$$

Это и есть формула (8).

Литература

1. М. И. Конторович. Операционное исчисление и нестационарные явления в электрических цепях. Гл. IX, Гостехиздат, 1949.
2. Т. А. Татур. Труды МЭИ, вып. 3, стр. 163, Госэнергоиздат, 1948.
3. А. И. Лурье. О периодическом решении. "Прикладная математика и механика", т. XII, 1948.

(1. 3. 1950)



Шкала энергии

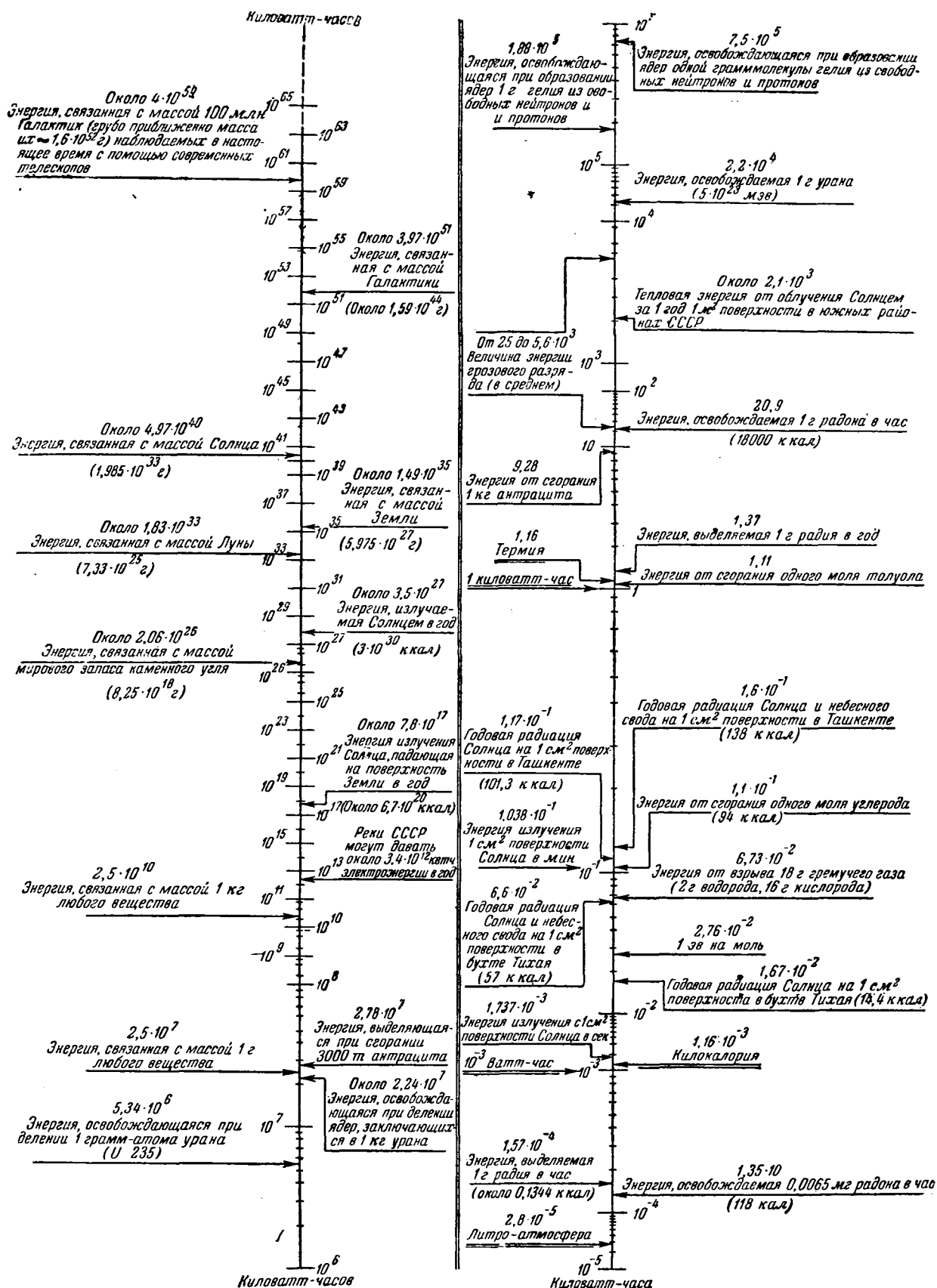
Кандидат техн. наук А. П. БЕЛЯКОВ

Москва

Автор пытается при помощи приводимой шкалы проследить известные нам концентрации энергии в природе — от ничтожно малых до грандиозных количеств. Шкала начинается со значений квантов энергии электромагнитных волн инфранизких частот, квантов энергии радиоволн, све-

Приводится шкала, охватывающая различные концентрации энергии (в киловаттчасах). Шкала имеет общеобразовательный характер.

товых волн, рентгеновских волн, гамма-лучей и т. д. Затем в ней приводятся количества энергии, выделяемой при ядерных реакциях, огромные значения энергии, излучаемой Солнцем, количества энергии, связанной по современным представлениям с массами Земли, Солнца и т. д.



Выпускающие зажимы на линиях электропередачи

Инж. С. С. РОКОТЯН, инж. Б. В. СОКОЛОВ, инж. А. Н. ШЕРЕНЦИС

Теплоэлектротехнический институт

Постановка вопроса.

Применение выпускающих зажимов, ограничивающих усилия, испытываемые промежуточной опорой при обрыве провода, приводит к значительной экономии материалов при строительстве воздушных линий электропередачи.

Расчеты показывают, что, начиная с провода АС-70, экономия в расходе древесины при применении выпускающих зажимов вместо глухих непрерывно возрастает, достигая, например, для провода АС-185—40%.

При проектировании линий электропередачи на выпускающих зажимах установлено, что расход леса на промежуточную опору практически не зависит от сечения провода и района климатических условий.

Для металлических одноцепных опор с треугольным расположением проводов, принятых в качестве типовых для линий электропередачи 110 кВ в I и II районах климатических условий, применение выпускающих зажимов уменьшает вес промежуточной опоры соответственно для проводов МГ-95 и МГ-120 на 13,8—26,5%, а для промежуточной опоры с горизонтальным расположением проводов, рекомендуемой для одноцепных линий 110 кВ в III и IV районах, уменьшает вес опоры на 9,5% для проводов АС-150 и на 12,3% для проводов МГ-120.

Применение выпускающих зажимов на металлических опорах линий 220 кВ дает экономию в 25% при горизонтальном расположении проводов и 18% при шестиугольном. Для проводов сечением меньше МГ-70 и ему соответствующих применение зажимов не дает экономии в расходе материалов на промежуточные опоры.

Конструкции выпускающих зажимов. Выпускающим принято называть зажим, в котором провод при равновесии закреплен и не может свободно передвигаться, а при возникновении в проводе одностороннего тяжения и нарушения равновесия зажим освобождает провод, который после этого получает свободу перемещения.

Освобождение провода в существующих конструкциях выпускающих зажимов происходит вследствие отклонения подвески зажима от вертикального положения.

Первые отечественные конструкции выпускающих зажимов были разработаны в 1931 г. рабочими-изобретателями гг. Чумиковым и Рычажковым. Однако при испы-

Рассмотрены конструкции выпускающих зажимов. На основании обработки отчетных данных проведен анализ результатов их эксплуатации в энергосистемах Министерства электростанций и показана экономическая эффективность применения.

таниях они не дали положительных результатов и не получили применения. В этом году появился выпускающий зажим ЛЭФИ-2, разработанный Ленинградским политехни-

ческим институтом и успешно прошедший все испытания. В зажиме ЛЭФИ-2 (рис. 1) провод прочно закрепляется в лодочке 1 болтами и накладками в точках, расположенных на некотором расстоянии от ее середины. Лодочка 1 имеющимися в бортах выемками устанавливается на цапфы 3 подвески. При отклонении подвески на угол около 30° лодочка соскакивает с цапф, выходит из подвески и вместе с проводом падает на землю. Следует отметить, что в этой конструкции зажима лодочка не связана с подвеской и, находясь на цапфах, может колебаться в вертикальной плоскости.

Выпускающие зажимы треста Армсет. Все выпускающие зажимы, изготавливаемые трестом Армсет, разработаны с применением принципа посадки лодочки, разработанной ЛПИ. Зажим РС-2440 конструктивно выполнен аналогично зажиму ЛЭФИ-2. Зажим срабатывает при отклонении гирлянды на угол 30—35°.

Зажим РС-1139 разработан для провода марки АСУ-400 с применением antivибрационных прутков. Провод в лодочке закрепляется в двух точках с применением двух накладок, которые позволяют лодочке совершать вращение также и в горизонтальной плоскости.

Зажим РС-1393 (рис. 2) разработан для провода марки АСУ-300. Провод закрепляется в одной точке, посередине лодочки, что значительно улучшает его работу при вибрации. Испытания, проведенные в полевых условиях на линии 220 кВ, показали, что зажим РС-1139 срабатывает при угле отклонения гирлянды 30—35° и усилии в проводе 400—450 кг. Срабатывание зажима происходит через 0,18 сек от момента обрыва провода.

Зажим РС-1542 (рис. 3) разработан для подвески жесткого провода марки МП-240. В зажиме использован принцип свободной подвески, чем он значительно отличается от рассмотренных конструкций. На проводе укреп-

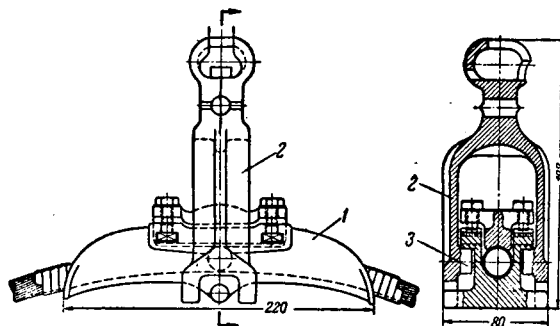


Рис. 1. Выпускающий зажим ЛЭФИ-2.

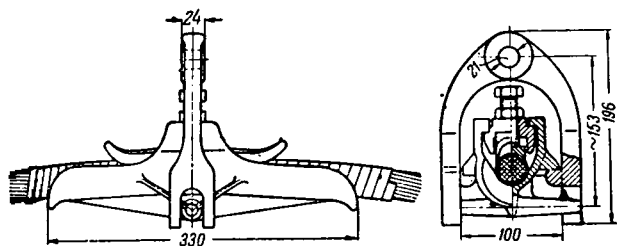


Рис. 2. Выпускающий зажим РС-1393.

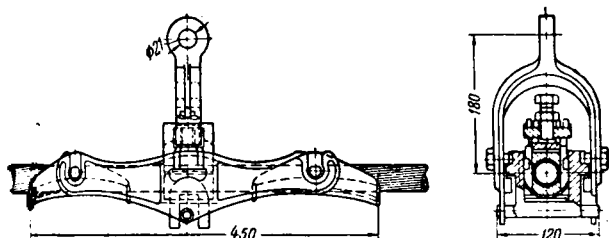


Рис. 3. Выпускающий зажим РС-1542.

ляется специальная обойма, после чего провод укладывается на две небольшие лодочки, шарнирно прикрепленные к концам корпуса, который подвешивается на цапфы подвески. Наличие на проводе обоймы препятствует осевому перемещению провода относительно корпуса зажима, но вместе с тем обойма допускает вертикальное перемещение провода. При срабатывании зажима провод вместе с лодочками и корпусом падает на землю. Лодочки от провода отделяются.

Импортные выпускающие зажимы. Зажим выпуска 1927 г. (рис. 4) состоит из подвески, лодочки и плашки с нажимным болтом. При отклонении подвески упругая лапка соскакивает с плашки и тем самым освобождает провод. После срабатывания зажима провод, находясь в лодочке, может свободно передвигаться в осевом направлении.

Зажим выпуска 1937 г. Принцип этого зажима заимствован у советской конструкции ЛЭФИ-2. При срабатывании зажима лодочка соскакивает с оси подвески, после чего провод, оставаясь на оси подвески, может передвигаться в осевом направлении.

Зажим выпуска 1943 г. (рис. 5) состоит из сборной подвески, лодочки и роликового ловителя. Под-

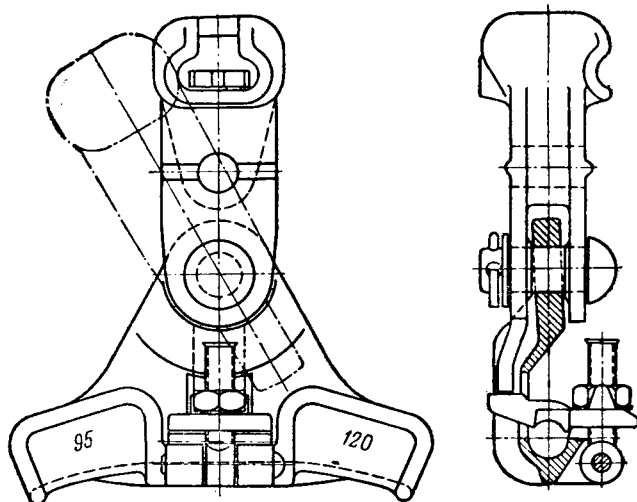


Рис. 4. Выпускающий зажим выпуска 1927 г.

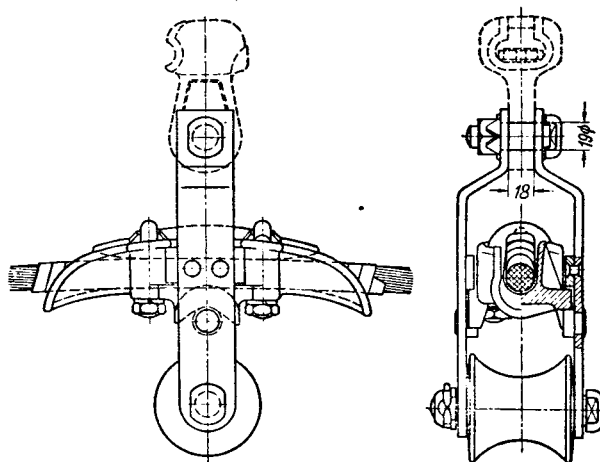


Рис. 5. Выпускающий зажим выпуска 1943 г.

веска собирается из однолапчатого ушка и двух планок, внизу скрепляется осью, на которую насажен ролик. Лодочка подвешивается на цапфы подвески аналогично зажиму ЛЭФИ-2. Зажим срабатывает при отклонении гир-

Таблица 1

Основные параметры выпускающих зажимов

Наименование выпускающего зажима и его изготовитель	Диаметр провода, мм	Вес зажима, кг	Расположение оси качения	Положение провода после срабатывания зажима
Зажим ЛЭФИ-2 Ленинградского политехнического института	10,5—12,4	3,3	Совпадает с осью провода	Падает на землю
РС-140 или РС-2440 трест Армсеть	6,3 до 20,0	2,7	То же	То же
РС-1139 трест Армсеть	50 (29,3—20)	15	То же	То же
РС-1393 трест Армсеть	25,2	5,8	То же	То же
РС-1542 трест Армсеть	30	7,7	То же	То же
Импортный зажим выпуска 1927 г.	3,5—17,5	0,98—2,45	—	Остается в зажиме
То же, выпуска 1937 г.	5,1—24,0	1,5—4,75	Ниже оси провода	То же
То же, выпуска 1943 г.	4,1—29,0	3,58—6,58	То же	То же

лянды на угол около 40°. После срабатывания зажима провод остается в зажиме и может скользить по ролику ловителя.

В табл. 1 приведены основные параметры выпускающих зажимов, применяемых в энергосистемах Советского Союза.

По принципу работы рассмотренные выше выпускающие зажимы можно разделить на два типа. К первому типу относятся конструкции зажимов, разработанные Чумиковым, Рычажковым, и импортный зажим выпуска 1927 г. Эти зажимы не имеют оси качения лодочки, а при закреплении в них проводе зажим вместе с проводом представляют одно целое.

Ко второму типу относятся зажимы ЛЭФИ-2 треста Армсет и импортные зажимы выпуска 1937 и 1943 гг. Провод в этих зажимах закрепляется в лодочке, которая свободно подвешивается на цапфы или ось подвески. Зажимы второго типа допускают поворот лодочки в вертикальной плоскости на значительный угол, что улучшает работу провода при вибрации. Как правило, эти выпускающие зажимы имеют меньшее число деталей.

Эксплуатационные показатели работы линий электропередачи с выпускающими зажимами. Сведения о количестве, типах конструкций, и работе выпускающих зажимов были получены от всех энергосистем Советского Союза, в которых они эксплуатируются.

Полученные данные сведены в табл. 2—4.

Таблица 2

Общая характеристика применения выпускающих зажимов

Номинальное напряжение линий электропередачи, кВ	Длина линий электропередачи, оборудованных выпускающими зажимами, по отношению к общей длине линий данного напряжения, %	Длина линий электропередачи данного напряжения, оборудованных выпускающими зажимами, по отношению к общей длине линий всех напряжений, оборудованных выпускающими зажимами, %
220	46,5	26,5
110	12,0	60,0
35	4,0	13,5

Длина линий всех напряжений в энергосистемах МЭС СССР, оборудованных выпускающими зажимами, составляет 11% от общего протяжения линий. В подавляющем большинстве случаев выпускающие зажимы применяются на опорах с горизонтальным расположением проводов, лишь одна линия с выпускающими зажимами имеет треугольное расположение проводов.

Линии, оборудованные выпускающими зажимами, построенные на металлических опорах, составляют 34%, на деревянных опорах — 66%. К IV району отнесено несколько линий, которые во время эксплуатации фактически испытали гололедные нагрузки, соответствующие условиям IV климатического района. 84,7% всех зажимов работают на линиях электропередачи I и II районов климатических условий.

Преимущественное распространение получили зажимы типов РС-2440 и выпуска 1927 г. Эти же конструкции работали наибольшее количество раз.

Следует отметить, что за время эксплуатации выпускающих зажимов не было ни одного случая отказа работы зажима при обрыве проводов. Имело место 25 случаев обрыва проводов, в том

Таблица

Распределение выпускающих зажимов различного типа по районам климатических условий

Район климатических условий	Выпускающие зажимы в процентах от их общего числа	В том числе по типам					
		РС-2440	РС-1139	РС-1393	РС-1542	Выпуска 1927 г.	Выпуска 1937 г.
I	42,5	28,8	—	—	—	—	10,8
II	42,2	14,5	—	5,5	1,5	14,1	4,1
III	6,1	—	6,1	—	—	—	—
IV	9,2	2,3	—	—	—	6,9	—
Всего по Советскому Союзу	100	45,6	6,1	5,5	1,5	21,0	14,9

Таблица

Продолжительность эксплуатации и показатели работы выпускающих зажимов

Тип зажима	Применяемость зажима, %	Среднее число лет работы данного типа	Число случаев работы выпускающих зажимов		
			Всего	В том числе	
				при обрыве проводов	по вешним причинам
РС-2440	45,6	11,4	25	14	11
РС-1393	5,5	8,7	1	1	—
РС-1542	1,5	9,0	—	—	—
РС-1139	6,1	10,0	1	—	1
1927 г.	21,0	18,6	9	9	—
1937 г.	14,9	2	1	1	—
1943 г.	5,4	1	—	—	—
Всего	100	60,7	37	25	12

числе 10 в условиях гололеда. Таким образом основная цель применения выпускающих зажимов — экономия материала опор за счет ограничения нагрузок на опоры в аварийных условиях — безусловно достигается и применение выпускающих зажимов полностью оправдывается.

За отчетный срок было 12 случаев работы выпускающих зажимов из-за внешних причин, т. е. без обрыва проводов.

Если два из этих случаев следует признать правильными и возможно один из них предотвратил линию от обрыва провода при падении на нее дерева, то остальные 10 с эксплуатационной точки зрения являются недопустимыми.

Во время ремонтных работ под напряжением, при смене траверз деревянных опор, было 3 случая срабатывания зажимов. Остальные случаи срабатывания имели место по следующим причинам: прогиб деревянной опоры при обрыве троса — 4 случая; неправильная установка опоры с большой разностью в вертикальных отметках по профилю линии — 2 случая; причина срабатывания зажима не выяснена — 1 случай.

Обращает внимание, что все указанные случаи срабатывания имели место с зажимами типа РС-2440, установленными на деревянных опорах.

Следует особо отметить случаи работы выпускающих зажимов, которые имели место в одной из энергосистем в 1935—1936 г. Причиной аварии явилась неправильная расстановка опор по трассе линии электропередачи в условиях пересеченной местности. При разбивке опор по профилю были допущены неодинаковые смежные пролеты между промежуточными опорами при неодинаковых высотных отметках опор. Вследствие этого выпускающие зажимы нормально работали с углами между осью лодочки и подвеской, отличными от 90° , и под действием ветра происходило их срабатывание.

При срабатывании выпускающего зажима происходит падение провода на землю в нескольких пролетах (в одном-двух смежных пролетах) и в некоторых, более редких, случаях — полностью в анкерном пролете. При этом возможно повреждение верхних повивов провода от электрической дуги или механических причин. Опыт эксплуатации показал, что в сетях с глухозаземленной нейтралью, оборудованных в современных условиях быстро действующей релейной защитой, повреждения проводов в пролетах, смежных с аварийным, обычно не наблюдаются.

Имеются данные лишь по одной аварии на линии 110 кВ, оборудованной выпускающими зажимами, которые при обрыве сработали на 5 смежных опорах, одновременно имело место обгорание провода на большой длине.

В сетях 35 кВ, работающих с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостных токов, при срабатывании выпускающих зажимов наблюдались легкие оплавления верхних повивов, что не препятствовало последующему включению линии.

10 из 12 случаев срабатывания выпускающих зажимов по внешним причинам (табл. 4) с точки зрения эксплуатации являются ложными, и в зависимости от условий должны расцениваться как аварии или брак. Случаи ложных срабатываний заставляют сделать ряд выводов:

1. Все ложные срабатывания произошли с зажимами типа РС-2440, поэтому, следует произвести тщательные испытания этого зажима; возможно потребуется увеличить угол срабатывания его до $40\text{--}45^\circ$.

2. При проектировании линии на выпускающих зажимах необходимо особо тщательно следить за разбивкой опор по профилю, не допуская неравномерных промежуточных пролетов, в особенности не допуская значительных разностей высотных отметок опор.

3. В сильно пересеченных и горных условиях применение выпускающих зажимов недопустимо.

4. При ремонте под напряжением деревянных опор с зажимами РС-2440 необходимо заклинить зажимы перед выполнением ремонтных работ во избежание возможного их срабатывания.

5. Желательно снабдить конструкции выпускающих зажимов треста Армсеть ловителями,

не допускающими падение провода на землю при срабатывании зажима.

Работа выпускающих зажимов при негоризонтальном расположении проводов. В одной из систем в течение двух лет эксплуатируется 80 км двухцепных линий с треугольным расположением проводов. Эксплуатация линий проходит нормально и никаких затруднений не вызывает.

Прежде всего необходимо отметить, что линии 110 кВ и выше с негоризонтальным расположением проводов могут быть только на металлических опорах. До сих пор случаев ложной работы выпускающих зажимов (без обрыва проводов) на металлических опорах не было и нет оснований предполагать, что при негоризонтальном расположении проводов они появятся.

Основным возражением к применению выпускающих зажимов при негоризонтальном расположении проводов является опасение, что при работе зажима верхний провод упадет на нижний и вызовет двухфазное короткое замыкание. Однако сдвиг проводов в горизонтальной плоскости на 0,7—1,5 м и больше, применение выпускающих зажимов лишь для проводов тяжелых марок, которые весьма надежны и при обрыве которых менее вероятно схлестывание с вынесенными по горизонтали проводами других фаз, позволяет предлагать применение выпускающих зажимов и для линий с негоризонтальным расположением проводов, строящихся в I и II районах климатических условий.

Обязательным условием применения выпускающих зажимов для линий с негоризонтальным расположением проводов следует считать применение ловителей проводов, не допускающих падения провода на землю при срабатывании зажима.

Работа выпускающих зажимов в гололедных условиях. Возможность применения выпускающих зажимов в гололедных районах теоретически рассмотрена в работах А. А. Глазунова и Г. М. Розанова [Л. 1]. Из этих работ следует, что наибольшее отклонение гирлянды изоляторов наблюдается на первой промежуточной опоре при загрузке гололедом пролета, примыкающего к анкерной опоре. Загрузка гололедом только провода среднего пролета ведет к максимальному провису провода, но не к наибольшему отклонению гирлянды. Для линий 35 кВ максимум отклонения наступает при 5 промежуточных пролетах; для 110 кВ примерно при 10—12 пролетах в анкерном пролете. Кроме того, чем больше число изоляторов, тем меньше угол отклонения гирлянды.

Абсолютная величина угла отклонения гирлянды для длин и числа пролетов, применяемых в практике при тяжелых условиях гололедной нагрузки, не превышает 32° . Опыт эксплуатации линий электропередачи 110 кВ в районах, где наблюдались фактические гололеды, выше условий IV климатического района, а также результаты испытаний зажимов в ЛПИ, подтверждают теоретические выводы о возможности применения выпускающих зажимов в III и IV районах климатических условий.

В 1933 г. несколько линий электропередачи 110 кВ, находящихся во II районе климатических условий, подвергались воздействию гололеда с толщиной стенки льда до 45 мм. Таким образом, опоры с выпускающими зажимами в массовом количестве фактически испытывались в условиях, значительно более тяжелых, чем климатические условия района IV.

Прежде всего следует отметить, что, несмотря на имевшие место многочисленные обрывы проводов, на линиях электропередачи с выпускающими зажимами не было сломано ни одной опоры, тогда как на линиях с глухими зажимами при обрыве проводов наблюдалась поломка одновременно 5—6 промежуточных опор в анкерном пролете.

Опыт эксплуатации показал, что во всех случаях аварий срабатывание выпускающих зажимов происходит нормально и провод из зажима выпускается. Даже при самых сильных гололедах зажимы хотя и обледеневали, но не до такой степени, чтобы задерживать выпуск провода из зажима.

Опыт эксплуатации линии электропередачи 220 кВ с выпускающими зажимами в III районе климатических условий также подтверждает возможность применения выпускающих зажимов.

Выводы. 1. Применение выпускающих зажимов на линиях электропередачи с проводом марок МГ-70, АС-120 и выше дает значительную экономию в расходе материала на промежуточные опоры в среднем 25% для деревянных опор и 15% для металлических.

2. Разработанный в СССР принцип конструкции выпускающих зажимов со свободной подвеской лодочки полностью оправдал себя в экс-

плоатации. Следует рекомендовать дополнить конструкции зажима треста Армсетть ловителя не допускающими падения провода на землю при срабатывании зажима.

3. За все время эксплуатации в энергосистемах Советского Союза линий электропередачи с выпускающими зажимами не было ни одного случая их отказа в работе при обрыве проводов линии.

Число случаев ложной работы выпускающих зажимов сравнительно невелико, тем не менее проектирование и эксплуатация линий с выпускающими зажимами имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать.

4. Применение выпускающих зажимов на линиях с металлическими опорами и негоризонтальным расположением проводов возможно в условиях применения ловителей и сдвига между проводами в горизонтальной плоскости не менее 0,7—1,5 м (в зависимости от конструкции опоры).

5. На основании имеющегося опыта можно разрешить применение выпускающих зажимов на линиях с горизонтальным расположением проводов в III районе климатических условий.

6. Требование Правил устройства электрических установок о снижении длины анкерного пролета для линий с выпускающими зажимами рекомендуется отменить, установив длину анкерных пролетов независимо от типа зажима.

Литература

1. Г. М. Розанов. Выпускающие зажимы для линий 220 кВ в гололедных районах. Электричество, № 1949.

[17. 8. 1949]



Принцип повышения напряжения

(к 70-летию открытия Д. А. Лачинова)

Кандидат техн. наук М. О. КАМЕНЕЦКИЙ

Ленинград

В 1880 г. профессор Петербургского лесного института Д. А. Лачинов разработал и изложил в первых номерах журнала «Электричество» теорию передачи энергии на расстояние посредством электрического тока [Л. 1]. В этой теории явился предложенный Лачиновым принцип, который может быть назван принципом повышения напряжения.

Это заключение Лачинова явилось исходной позицией централизованного электроснабжения; оно теоретически обосновывало возможность полноценного использования электроэнергии, произведенной в пункте, удаленном от мест потребления. Передача электрической энергии до выступления Лачинова находилась на этапе, определяемом акад. А. Чернышевым, как этап подготовительный. Имелись попытки использования электрической энергии на расстоянии от места ее генерирования (опыты Пироцкого в Петербурге, опыты Фонтэна в Вене, освещение парижских бульваров свечами Яблочкова и некоторые другие); оно оценено огромное значение электропередачи (статьи Лачинова, Пироцкого, Бреге, Айртона, Чиколева). Однако задача электрической энергии на расстояние на этом этапе не получила еще теоретического объяснения; статьи и доклады были в большей степени эмпирическими и не помогали оценке результатов экспериментов.

Роль, которую электричество играет в выполнении работы, так же как зависимость для производства механической работы между мощностью генерируемой и потребляемой, оставалась невыясненной.

К своим конечным выводам Лачинов пришел путем неприведенных рассуждений [Л. 1].

Приняв в качестве источника электрической энергии батарею, а в качестве потребителя — электродвигатель, Лачинов вывел уравнение к. п. д. в виде отношения индуктированной в двигателе э. д. с. к первоначальной э. д. с. (сила батареи) $\eta = \frac{U_2}{U_1}$, означавшее, что при со-

стоянии независимости этого отношения от сопротивления цепи, к. п. д. может быть независимым от сопротивления (значит и от расстояния).

Это выражение указывало на возможности, имеющиеся при электрических преобразованиях энергии.

Оно не выясняло, однако, зависимость величин мощностей при этих преобразованиях.

Выразив к. п. д. через токи, Лачинов установил, что чем больше, чем меньше ток в цепи, но что изменение тока, в свою очередь, влечет за собой уменьшение полезной мощности двигателя:

$$\eta = \frac{i_k - i}{i_k}; \quad P = U_2 i,$$

i_k — ток короткого замыкания (по Лачинову: ток, когда машина остановлена);

i — рабочий ток (по Лачинову: ток, когда машина работает);

P — мощность двигателя (по Лачинову: работа машины в секунду).

Наибольшая же полезная мощность достигается при том, что э. д. с., индуктированная в электродвига-

теле (э. д. с. на приемном конце), равна половине первоначальной (на генераторном конце), причем к. п. д. передачи равен лишь 50%.

Такое условие («потеря потонапрасну, — пишет Лачинов, — по крайней мере половину запаса энергии») побуждало Лачинова заменить в своих исследованиях батарею — источник тока с неизменными параметрами (мощность, э. д. с.) — электрической машиной; обратиться, как он пишет, к «передаче движения» от первичного механического двигателя, вращающего генератор, к электродвигателю, производящему механическую работу.

Коэффициент полезного действия равен при этом отношению мощностей двигателя и генератора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{i^2 r}{P_1},$$

где r — общее сопротивление электрической цепи.

Коэффициент тем больше, чем больше P двигателя, и одновременно, чем меньше ток. Этот вывод дал Лачинову ключ к его заключению о необходимости уменьшения тока при электропередаче путем повышения напряжения, и он постулирует, что из этого вывода «уже можно отчасти заключить, что передача работы совершается тем полнее, чем меньше сила тока, циркулирующего по цепи».

Выражая далее мощность магнитоэлектрической машины через ее вращающий момент («рабочий модуль» и силу тока) и число оборотов в секунду, Лачинов модифицировал уравнение к. п. д.:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2 A_2 i}{n_1 A_1 i} = \frac{n_2 A_2}{n_1 A_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{если } A_2 = A_1),$$

где n_1 и n_2 — число оборотов в секунду соответственно генератора и двигателя, и дал выражение для тока, протекающего по цепи

$$i = \frac{n_1 A_1 - n_2 A_2}{r} \quad \text{или} \quad i = \frac{(n_1 - n_2) A}{r} \quad (\text{если } A_1 = A_2).$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{В обозначениях} \\ \text{Лачинова} \end{array} I = \frac{NA - N'A'}{R} \quad \text{или} \quad I = \frac{N - N'}{R} A. \right]$$

На основании полученных уравнений Лачинов сделал свой конечный исчерпывающий вывод.

¹ Модулем Лачинов называет мощность машины при одном обороте и при токе в 1 а. Работу магнитоэлектрической машины за один оборот можно считать пропорциональной току, числу витков и магнитному потоку — «силе магнитного поля». Все эти величины, кроме тока, являются постоянными и их можно объединить в одну общую величину ($p = c i \omega \phi = A i$). Модуль равен также вращающему моменту, помноженному на длину окружности (длину пути) и поделенному на ток. Это равенство выводится следующим путем: $p = A i$, но работа за один оборот равна также вращающему моменту, помноженному на

длину окружности $p = M 2\pi$, откуда $A = \frac{M 2\pi}{l}$, а мощность в секунду при токе в i а и числе оборотов в секунду n) равна $P = A i n$.

«Вышеприведенные формулы показывают, что полезное действие не зависит от сопротивления, следовательно, можно передавать работу даже на весьма значительное расстояние, не опасаясь экономических невыгод². Однако увеличение сопротивления проводов должно оказывать какое-нибудь влияние на передачу! Формула (тока, протекающего по цепи — $M. K.$) показывает, что при увеличении R сила тока и, следовательно, K' (равная $IN'A'$) уменьшилась бы, если бы N и N' остались те же; но в действительности произойдет иное³ — скорость обеих машин возрастет пропорционально квадратному корню сопротивлений⁴ (предполагая, что x дано), так что K и K' сохраняют свою прежнюю величину. Это видно из уравнения

$$K = \frac{N^1 A^2}{R} (1 - x)$$

$$\left[\text{в современных обозначениях } P_1 = \frac{n_1^2 A_1^2}{r} (1 - \eta) \right]''$$

«Если, например, — пишет далее Лачинов, — увеличим R в 100 раз, то при передаче того же числа лошадиных сил, скорость будет десятикратная⁵. Словом машина № 1 увеличивает скорость для того, чтобы быть в состоянии принять работу K , а машина № 2, — чтобы произвести работу K' . На практике следует увеличивать по возможности как скорость, так и число обводов.⁶

... Повторим еще раз, что увеличение скорости и числа обводов проволоки на катушке весьма выгодно, так как позволяет передавать при данной силе тока гораздо большую работу».

В этих своих положениях Лачинов установил таким образом следующее.

1. Процесс электропередачи может и должен совершаться в таком направлении, чтобы скомпенсировать влияние расстояния (сопротивления) передачи на к. п. д.
2. Поддерживание постоянного к. п. д. при изменяющихся сопротивлениях линии (и при прочих равных условиях) достигается изменением (повышением) напряжения, причем благодаря повышению напряжения при том же токе можно передавать гораздо большую энергию.
3. Повышение напряжения электрической машины (генератора) может быть достигнуто как увеличением ее скорости, так и увеличением числа витков ее обмотки.

Действительно, для того чтобы к. п. д. передачи при изменении ее дальности оставался постоянным, необходимо, чтобы оставались неизменными потери в сети

$$\Delta P = ri^2 = \frac{U^2}{r} = \text{const},$$

а это достигается повышением напряжения.

² Курсив подчеркиваю.

³ «Так как мы считаем K за постоянные» (примечание Д. А. Лачинова).

⁴ Р зрядка пишл — М. К.

⁵ «а сила тока одна десятая первоначальной» (примечание Д. А. Лачинова).

⁶ Числом обводов Лачинов называет число витков обмотки.

Принцип повышения напряжения, как ранее указывалось, был предложен Д. А. Лачиновым в 1880 г. Это мнение, возникшее за рубежом, что принцип понижения напряжения был раскрыт Дебре, осуществлен в 1882 г. на Мюнхенской выставке передачу электроэнергии на расстояние, противоречит истинному положению, фактам. Следует отметить, что уже в 1881 г. в редакционном примечании в журнале «Электричество» указывалось на приоритет Д. А. Лачинова [Л. 2].

Проведенное автором настоящей статьи документальное исследование подтверждает необоснованность этого приоритета Дебре. Накануне мюнхенской передачи Дебре трижды пытался осознать законы, управляющие передачей электроэнергии: в марте 1880 г., в августе 1880 г. и в декабре 1881 г. Однако его попытки не были успешными. Только в декабре 1881 г. М. Дебре повторил теоретические выводы, высказанные за полтора года этого Д. А. Лачиновым. Современники отмечали вренний характер исканий Дебре. Это видно, например, из статьи французского электрика Ф. Жеральди, рассуждавшего в 1882 г. теоретические работы Дебре по передаче [Л. 4]. Русский ученый С. Егоров в 1884 г. указывал, что первая публикация Дебре (март 1880 г.) могла бы иметь значения для решения вопроса о передаче силы, если бы позже, в декабре 1881 г.⁷ Дебре не пришел к принципу повышения напряжения [Л. 5]. В течение полутора лет Дебре строил свои рассуждения на эмпирической, арифметической базе, прежде чем торить обобщающие теоретические положения Лачинов, который заменил эмпирические сравнения научным объяснением, а логалки — расчетом, превратив вопрос о передаче электроэнергии из неопределенной проблемы в конкретную техническую задачу.

Выводы. Принцип Д. А. Лачинова имеет общезначимый смысл. В нем применительно к электроэнергетике выражено одно из основных положений марксистского материалистического мировоззрения о законе движения в природе — законе сохранения и превращения энергии.

Русский ученый Д. А. Лачинов указал основное направление развития техники электрической передачи энергии: повышение напряжения по мере увеличения расстояния и мощности.

Литература

1. Д. А. Лачинов. Электромеханическая работа. Электричество, № 1, 2, 5, 6, 7, стр. 9, 27, 65, 85, 104, 105.
2. Электричество, № 18—19, стр. 269, 1882.
3. Marcel Deprez. Передача и распределение энергии посредством электричества. La Lumière électrique, т. V, стр. 309, 1881.
4. Frank Gerdaldy. По поводу опытов по передаче силы. La Lumière électrique, т. VII, стр. 424 и 448, 1883.
5. С. Егоров. Передача работы электрическим током. Электричество, № 11—12, стр. 90, 1884.

⁷ Т. е. значительно позднее Д. А. Лачинова — М. К.



Электрические аппараты высокого напряжения

ОТ РЕДАКЦИИ

Необходимость выпуска отдельного ГОСТ на классификацию и терминологию электрических аппаратов высокого напряжения бесспорно назрела, ввиду широкого развития данной области электротехники. Большое число связанных с высоковольтным аппаратостроением специальных вопросов делает актуальной задачу устранения различных терминов для одних и тех же понятий в практике аппаратостроения и в отдельных частных стандартах на аппараты высокого напряжения. Публикуя ниже проект ГОСТ, составленный Г. Б. Холявским при участии Л. К. Грейнера и К. Е. Булгакова, редакция обращается к читателям журнала с предложением прислать свои замечания и рекомендации для обсуждения их и учета при утверждении стандарта Всесоюзным комитетом стандартов при Совете Министров СССР.

ПРОЕКТ ГОСТ „АППАРАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ“

Инженеры Г. Б. ХОЛЯВСКИЙ, Л. К. ГРЕЙНЕР, К. Е. БУЛГАКОВ

Завод „Электроаппарат“

Стандарт должен установить ряд терминов, имеющих широкое применение в технике высокого напряжения, и может представить в связи с этим значительный интерес для широких кругов электротехников СССР. В настоящем проекте ГОСТ, где это было возможно, во избежание излишних повторений были использованы подходящие термины и их определения из ГОСТ 2774-44 «Аппараты электрические низкого напряжения промышленного применения», за исключением тех случаев, когда или наименование термина или его определение слишком сильно отличались от тех терминов или определений, которые подходят для практики высоковольтного аппаратостроения. Общее число терминов, заимствованных из ГОСТ 2774-44, составляет 22, т. е. около 9% всех терминов данного проекта. Для большей полноты и законченности текста проекта наименования заимствованных терминов были повторены в данном проекте, однако без соответствующих их определений, на которые даны соответствующие ссылки.

Ввиду общего характера данного стандарта, назначением которого должно быть обобщение основной терминологии аппаратов высокого напряжения (а. в. н.), ссылки на термины отдельных частных стандартов не производились, тем не менее, что эти термины не всегда были достаточно ясными и часто не были согласованы между собой.

Со времени составления первой редакции проекта некоторые термины были добавочно пропущены на заводе «Электроаппарат» (например,

¹ В составлении первой редакции принимал участие не только завод «Уралэлектростроитель» Г. А. Четухин, но и И. А. Джаншиевым была со-
ставлена и вторая редакция проекта.

относящиеся к типам контактов, «выключатели нагрузки», «опорно-проходные разъединители», «отъединители» воздушных выключателей) и, кроме того, большая часть проекта была рассмотрена и обсуждена комиссией по терминам в технике высоких напряжений при ВНИТОЭ. Эта комиссия на ряде заседаний подвергла многие пункты проекта существенной переработке и дала значительное количество нового материала, который был учтен при составлении настоящей редакции. В отдельных случаях решения комиссии не могли быть приняты для включения в окончательный текст, вследствие того, что предполагаемые термины или не соответствовали применяемым в практике высоковольтного аппаратостроения, или противоречили общей структуре стандарта, или же по другим соображениям. Однако работа комиссии ВНИТОЭ позволила во многих случаях более полно выявить точку зрения и проектирующих организаций, и вузов, и представителей аппаратного завода и способствовала устранению ряда спорных мест из проекта ГОСТ.

Ввиду назревшей необходимости выхода данного стандарта и скорейшего внедрения в практику высоковольтного аппаратостроения правильной терминологии в настоящей (третьей) редакции, по возможности, избегались спорные положения или термины. Весьма существенным был вопрос об оставлении отдельных терминов или групп в данном стандарте, отнесении их к другим стандартам или исключении их, вследствие недостаточности принципиального значения. В этом отношении проводилась установка — по возможности не включать сравнительно мало употребительные термины и понятия, но в то же время обеспечить в ГОСТ достаточную полноту в части

современным, причем в нем должны быть рассмотрены все основные термины, существенные для аппаратов высокого напряжения.

ПРОЕКТ ГОСТ

Настоящий стандарт устанавливает для электрических аппаратов высокого напряжения (1 000 В и выше) перечень терминов, а также относящиеся к этим аппаратам термины и определения для применения в технических документах, литературе, учебных и справочных материалах.

Примечание. В дальнейшем тексте стандарта для краткости термин «аппарат высокого напряжения» обозначается условно «а. в. н.».

Термин «высоковольтный аппарат» допускается параллельно с рекомендуемым основным термином «аппарат высокого напряжения» в тех случаях, когда применение последнего термина ведет к излишним повторениям или удачным оборотам речи.

Стандарт содержит следующие разделы:

1. Классификация а. в. н. (по назначению, по роду исполнения).

2. Термины и определения по следующим группам: — основные виды и конструктивные исполнения а. в. н.; — основные элементы а. в. н., В — общие величины, основные характеристики, относящиеся к а. в. н.

3. Классификация. А. в. н. классифицируются по следующим основным признакам: а) назначение; б) род исполнения.

По назначению а. в. н. подразделяются на: 1) коммутационные а. в. н.; 2) а. в. н. для ограничения тока короткого замыкания и для защиты от перегрузок от токов короткого замыкания (токоограничивающие токозащитные а. в. н.); 3) а. в. н. для защиты от перенапряжения; 4) а. в. н. для питания приборов измерения, релейной защиты и автоматики; 5) а. в. н. для измерения или регулирования режима заземления сети; 6) а. в. н. специального назначения (например, аппаратура для регулирования напряжения трансформаторов под нагрузкой). Аппараты, выполняющие несколько из перечисленных функций, относятся одновременно к нескольким группам.

По роду исполнения а. в. н. подразделяются на следующие группы (с указанием основных разновидностей исполнения).

1. Род установки. А. в. н. для внутренней установки, а. в. н. для наружной установки.

2. Состояние окружающей атмосферы. Нормальное исполнение а. в. н.; а. в. н. при повышенной загрязненности воздуха.

3. Степень безопасности в отношении взрыва. Нормальное исполнение а. в. н.; а. в. н. повышенной надежности; взрывозащищенные а. в. н.; взрывобезопасные а. в. н.

4. Пригодность для работы в особых коммутационных режимах. Нормальное исполнение а. в. н.; а. в. н. для работы с автоматическим повторным включением; а. в. н. для работы с пофазным (пофазным) включением; а. в. н. для повышенной частоты операций (для печных установок).

5. Число полюсов и направлений коммутации. Однополюсные а. в. н., двух-, трех- и многополюсные а. в. н. а. в. н. на одно направление коммутации и на два направления коммутации (переключатели).

6. Род монтажа (крепления). А. в. н. для установки на раме (на цоколе); а. в. н. для установки на полу или на основании; а. в. н. настенные; а. в. н. выкатного типа.

7. Совмещение функций различных элементов распределительного устройства. Отдельный комплектный а. в. н. (например, выключатель с приводом); комбинированный а. в. н. (например, выключатель нагрузки с предохранителем); ячейка распределительного устройства (например, распределительный шкаф, выдвижная камера); комплектное распределительное устройство (например, группа ячеек, связанных между собой общей стандартной или индивидуальной, электрической шиной).

8. Пригодность для непосредственной (ручной) работы при управлении аппаратом при высоком напряжении,

А. в. н., не допускающие непосредственной работы при высоком напряжении (пример: выключатель с силовым приводом); а. в. н., пригодные для непосредственной работы при высоком напряжении (пример: токоизмерительные клещи, штанга ручного управления, коммутационные аппараты с ручными приводами и др.).

9. Род изоляции. А. в. н. с воздушной изоляцией; с жидкостной изоляцией; с изоляцией заливочной массой; с изоляцией сжатым воздухом или газом.

10. Термины и определения. Как правило, помещены основные термины, рекомендуемые для определяемого объекта. В отдельных случаях кроме основного термина приведены употребительные параллельные, применение которых допустимо тогда, когда по контексту это не может привести к недоразумениям. Термины, приведенные выше в разделе «Классификация», определение которых очевидно из их названия, в данном разделе не повторяются.

А. Основные виды и исполнения а. в. н.

1. Коммутационные а. в. н.

1. Выключатель. А. в. н., предназначенный для отключения и включения как токов рабочего режима цепи, так и токов короткого замыкания.

2. Выключатель нагрузки. А. в. н., предназначенный для отключения и включения токов рабочего режима.

3. Разъединитель. А. в. н., предназначенный для разъединения или соединения частей электрической цепи при отсутствии тока или при токах значительно ниже номинального тока разъединителя (например, намагничивающий ток трансформатора и т. п.).

4. Переключатель. А. в. н., предназначенный для переключения токов рабочего режима.

5. Переключающий разъединитель. Разъединитель (п. 3), предназначенный для переключения цепи при отсутствии тока в ней или при токах значительно ниже номинального тока разъединителя.

6. Жидкостный выключатель. Выключатель (п. 1), у которого размыкание контактов (гашение дуги) происходит в жидкости.

7. Масляный выключатель. Выключатель, у которого размыкание контактов (гашение дуги) происходит в масле.

8. Выключатель с большим объемом масла. Баковый выключатель. Масляный выключатель (п. 7), у которого масло является не только дугогасящей средой, но и изоляцией контактов от заземленного бака.

9. Маломасляный выключатель. Масляный выключатель, у которого масло является, в основном, лишь дугогасящей средой.

10. Водяной выключатель. Жидкостный выключатель (п. 6), у которого гашение дуги происходит в воде или жидкости с большим содержанием воды.

11. Воздушный выключатель. Выключатель (п. 1), у которого дугогасящей средой служит сжатый воздух.

12. Автогазовый выключатель (газогенерирующий выключатель). Выключатель, у которого гашение дуги происходит в газе, выделяемом дугой из твердого газогенерирующего вещества.

13. Электромагнитный выключатель (выключатель магнитного дутья). Выключатель, у которого гашение дуги происходит в воздухе посредством воздействия на дугу магнитного поля.

14. Рубящий разъединитель. Разъединитель (п. 3) с поворотом ножа в плоскости полюса.

15. Поворотный разъединитель. Разъединитель с поворотом ножа (контактов) в плоскости, перпендикулярной плоскости полюса.

16. Вдвигной разъединитель (втычной разъединитель). Разъединитель с поступательным движением контактов в плоскости полюса.

17. Качающийся разъединитель. Разъединитель, в котором размыкание и замыкание контактов производятся посредством одного или двух качающихся изоляторов.

18. Разъединитель с заземлителем. Разъединитель, снабженный устройством, позволяющим заземлять отсоединяемые от высокого напряжения контакты разъединителя.

19. Опорный разъединитель. Рубящий разъединитель (п. 14) на опорных изоляторах.

20. *Проломной разьединитель*. Рубящий разьединитель на проломных изоляторах.

21. *Опорно-проломные разьединители*. Рубящие разьединители (п. 14) на опорных и проломных изоляторах с расположением места разьединения на опорном или на проломном изоляторе.

2. *А. в. н. для ограничения токов короткого замыкания и для защиты от перегрузок и от токов короткого замыкания (токоограничивающие и токозащитные аппараты)*

22. *Реактор*. А. в. н., предназначенный в основном для ограничения токов короткого замыкания и представляющий собой катушку самоиндукции с большим отношением индуктивного сопротивления к активному.

23. *Резистор*. А. в. н., предназначенный для ограничения токов короткого замыкания и представляющий собой преимущественно активное сопротивление.

24. *Предохранитель*. А. в. н., который при токах, больших некоторой величины, разьмыкает цепь высокого напряжения путем расплавления плавкой вставки через промежуток времени, зависящий от тока.

25. *Токоограничивающий предохранитель*. Предохранитель (п. 24), обладающий способностью ограничивать ток большой кратности посредством введения в цепь тока после расплавления плавкой вставки высокого сопротивления.

26. *Предохранитель сухого типа*. Предохранитель, в конструкции которого отсутствует жидкость.

27. *Жидкостный предохранитель*. Предохранитель, у которого гашение дуги после расплавления плавкой вставки происходит под слоем жидкости.

28. *Порошковый предохранитель*. Предохранитель сухого типа (п. 26), в котором плавкая вставка находится в патроне, наполненном сухим кварцевым песком или иным изолирующим сыпучим материалом.

29. *Масляный предохранитель*. Жидкостный предохранитель (п. 27), в котором жидкостью служит масло.

30. *Роговой предохранитель*. Предохранитель для наружной установки, у которого плавкая вставка шунтирует искровой промежуток, имеющий форму роговых электродов.

31. *Предохранитель многократного действия*. Предохранитель с двумя или более плавкими вставками (или патронами) для автоматической замены перегоревшей вставки.

32. *Силовой предохранитель*. Предохранитель для защиты силовых цепей от перегрузок и токов короткого замыкания.

33. *Предохранитель к трансформаторам напряжения*. Предохранитель для защиты от короткого замыкания в ответвлении к трансформатору напряжения.

3. А. в. н. для защиты от перенапряжений

34. *Разрядник*. А. в. н. для защиты изоляции линий передачи и электрооборудования от перенапряжений, выполняющий защиту посредством пробоя искрового промежутка и отвода заряда опасной для изоляции волны в землю.

35. *Вентильный разрядник (разрядник с зависимым сопротивлением)*. Разрядник (п. 34), последовательно с искровым промежутком которого включено сопротивление, уменьшающееся плавно или скачкообразно при повышении напряжения на нем.

36. *Выхлопной разрядник (трубчатый разрядник)*. Разрядник, дуга в котором гасится дутьем газов, создаваемых ею в разряднике.

37. *Защитный промежуток (искровой промежуток)*. Разрядник, состоящий в основном из воздушного искрового промежутка.

38. *Пленочный разрядник*. Вентильный разрядник (п. 35), действие которого основано на пробое защитной пленки окиси металла (алюминия, свинца), восстанавливающей после пробоя свою диэлектрическую прочность.

4. *А. в. н. для питания приборов измерения, релейной защиты и автоматики*

39. *Трансформатор тока*. А. в. н., предназначенный для питания токовых цепей приборов измерения, защиты и автоматики.

40. *Трансформатор напряжения*. А. в. н. и или емкостный, предназначенный для питания приборов измерения, защиты и автоматики.

41. *Комбинированный трансформатор тока и напряжения*. А. в. н., предназначенный для работы именно в качестве трансформатора тока и трансформатора напряжения.

42. *Емкостный трансформатор напряжения*. Трансформатор напряжения (п. 40), работающий на принципах делителя напряжения.

43. *Встроенный трансформатор тока (или трансформатор напряжения)*. Трансформатор тока (п. 39) и трансформатор напряжения (п. 40), являющийся частью конструкции другого а. в. н.

44. *Защитный трансформатор тока*. Трансформатор тока, предназначенный для специальной защиты.

45. *Измерительный трансформатор тока (напряжения)*. Трансформатор тока (напряжения), предназначенный в основном для целей измерения.

46. *Проломной трансформатор тока*. Трансформатор тока, который одновременно может быть использован в качестве проломного изолятора.

47. *Опорный трансформатор тока*. Трансформатор тока, который одновременно может быть использован в качестве опорного изолятора.

48. *Стержневой трансформатор тока*. Трансформатор тока, первичной обмоткой которого служит ток стержень.

49. *Шинный трансформатор тока*. Трансформатор тока, первичной обмоткой которого служит шина распределительного устройства.

50. *Катушечный трансформатор тока*. Трансформатор тока, у которого первичная обмотка выполнена в виде катушки.

51. *Трансформатор тока нулевой последовательности*. Защитный трансформатор тока (п. 44), предназначенный для защиты от замыкания на землю и первичной обмоткой которого служит трехфазный кабель.

52. *Разьемный трансформатор тока*. Трансформатор тока с разьемной магнитной цепью.

53. *Токоизмерительные клещи*. Переносный разьемный трансформатор тока (п. 52), предназначенный для измерения оператором тока в проводах, находящихся под напряжением.

5. А. в. н. для изменения или регулирования режима заземления сети

54. *Дугогасящая катушка*. А. в. н., обладающая регулируемой индуктивностью и служащий для компенсации емкостного тока сети высокого напряжения.

55. *Активное заземляющее сопротивление*. Сопротивление, служащее для создания активного тока замыкания на землю в сетях высокого напряжения.

Б. Основные элементы а. в. н.

1. Общие элементы конструкции

56. *Полус аппарата*. Комплекс частей или самостоятельная часть а. в. н., относящиеся к одному периоду (фазе) цепи.

57. *Рама—корпус—цоколь а. в. н.* Часть (деталь), к которой крепятся основные элементы а. в. н.

58. *Бак выключателя*. Металлический заземленный бак выключателя с большим объемом масла, в котором происходит разьмыкание контактов.

59. *Горшок—цилиндр—колонка выключателя*. Металлический или изоляционный резервуар для масла и масла, в котором происходит разьмыкание контактов.

60. *Отьединитель (воздушного или маломасляного выключателя)*. Разьединяющий промежуток, включающий последовательно с дугогасительным устройством воздушных или маломасляных выключателей для обеспечения надежной изоляции между разомкнутыми контактами выключателя.

61. *Выпрямляющий механизм*. Механизм, обуславливающий прямолинейность движения подвижных контактов коммутационного а. в. н.

62. *Пружина (пружины) отключения*. Пружина (набор пружин), обеспечивающая необходимую скорость

движения подвижных контактов коммутационного а. в. н.

63. *Траверза выключателя.* Горизонтальная деталь, к которой крепятся вертикально движущиеся контакты выключателя.

64. *Воздушная подушка выключателя.* Замкнутый объем воздуха внутри жидкостного выключателя, служащий для уменьшения пульсации давления в жидкости при отключении.

65. *Маслоулавливатель.* Устройство, препятствующее выбрасыванию масла при гашении дуги в масляном выключателе.

66. *Газотвод, выхлоп.* Устройство для охлаждения и отвода газов, выделяющихся в выключателе при отключении.

67. *Предохранительный клапан.* Устройство для предотвращения чрезмерного давления в баке выключателя.

68. *Буфер.* Устройство для поглощения энергии движущихся масс а. в. н. в конце их хода при отключении или включении.

69. *Дутьевой клапан.* Клапан впуска сжатого воздуха для гашения дуги при отключении воздушного выключателя.

70. *Разрыв между контактами.* Кратчайшее расстояние между разомкнутыми контактами коммутационного а. в. н.

71. *Искровой промежуток разрядника.* Часть разрядника высокого напряжения (п. 34), представляющая собой отдельный элемент конструкции и состоящая из одного или нескольких воздушных промежутков, пробивающихся при повышении напряжения на разряднике.

72. *Трубка разрядника.* Часть выхлопного разрядника (п. 36), в которой происходит гашение возникающей в разряднике дуги.

73. *Сердечник трансформатора тока.* Часть трансформатора тока, представляющая собой скомплектованный пакет трансформаторной стали вместе с вторичной обмоткой для одной внешней независимой цепи тока.

74. *Кожух а. в. н.* Металлическая оболочка а. в. н., защищающая их отдельные элементы или обмотки от механических повреждений.

75. *Зажим.* Токоведущий элемент а. в. н., предназначенный для присоединения внешней цепи высокого напряжения или цепей низкого напряжения.

2. Элементы контактной системы и дугогасительных устройств а. в. н.

76. *Контакты а. в. н.* Часть токоведущей системы а. в. н., предназначенная для осуществления замыкания и размыкания цепи.

77. *Главные контакты.* Контакты (п. 76), через которые проходит весь ток или основная часть тока аппарата в его включенном положении.

78. *Дугогасительные контакты.* Контакты, на которых производится разрыв дуги при размыкании цепи тока высокого напряжения.

79. *Контактное соединение* — см. п. 121 ГОСТ 2774-44 «Аппараты электрические низкого напряжения промышленного применения. Терминология».

80. *Электрический контакт* — см. п. 93 ГОСТ 2774-44.

81. *Точечный контакт* — см. п. 94 ГОСТ 2774-44.

82. *Линейный контакт* — см. п. 95 ГОСТ 2774-44.

83. *Поверхностный контакт* — см. п. 96 ГОСТ 2774-44.

84. *Подвижный контакт* — см. п. 97 ГОСТ 2774-44.

85. *Неподвижный контакт* — см. п. 98 ГОСТ 2774-44.

86. *Промежуточный контакт.* Контакт а. в. н., предназначенный для создания генерирующей давление дуги и возникающий при отключенном положении аппарата между подвижным и неподвижным контактами.

87. *Контактный стержень.* Подвижный токоведущий стержень, применяемый в качестве контакта коммутационного аппарата.

88. *Гибкая связь.* Часть токоведущей системы а. в. н., выполненная из гибких токоведущих элементов, способная принимать форму и служащая для обеспечения основного пути тока между подвижным и неподвижным элементом.

89. *Торцовый контакт.* Контакт а. в. н., у которого движение направлено по линии движения контактов и в котором не имеется относительного перемещения подвижного и неподвижного контактов с момента их соприкосновения.

90. *Розеточный контакт.* Контакт а. в. н., в котором давление на контактный стержень создается несколькими симметрично расположенными относительно его оси самоустанавливающимися контактными элементами.

91. *Щеточный контакт* — см. п. 115 ГОСТ 2774-44.

92. *Пальцевый контакт.* Контакт а. в. н., одна из частей которого состоит из отдельных одностипных жестких самоустанавливающихся элементов, с гибкими связями или без них, прилегающих к плоским граням второй части контакта неизменяющейся формы.

93. *Роликовый контакт.* Контакт а. в. н., в котором переход тока от неподвижного контакта к подвижному происходит через промежуточный ролик.

94. *Пружинные контакты.* Подвижные или неподвижные контакты а. в. н., разъединителя или предохранителя, в которых давление обеспечивается пружинами свойствами материала контактов или дополнительно особыми пружинами нажатия.

95. *Контактные пружины нажатия.* Пружины, служащие для обеспечения давления в пружинных контактах а. в. н.

96. *Нож разъединителя.* Подвижная контактная часть разъединителя.

97. *Осевой контакт разъединителя.* Контакт у оси поворотного ножа разъединителя.

98. *Разъединяющий контакт.* Контакт у разъединяющего промежутка разъединителя.

99. *Дугогасительное устройство.* Устройство, служащее для гашения дуги в коммутационном а. в. н.

100. *Гасительная камера.* Элемент дугогасительного устройства, в котором происходит основной, наиболее интенсивный, процесс дугогашения.

101. *Простой разрыв.* Гашение дуги в коммутационном а. в. н., осуществляемое посредством расхождения контактов без дополнительных дугогасительных устройств.

102. *Многократный разрыв.* Гашение дуги, осуществляемое посредством одновременного расхождения нескольких контактов, образующих более двух последовательных мест разрыва дуги.

103. *Многократная гасительная камера.* Дугогасительное устройство, состоящее из нескольких последовательно включенных гасительных камер, расположенных в местах разрыва тока коммутационного а. в. н.

104. *Дутье (жидкостное, газовое, магнитное).* Устройство для повышения скорости движения дугогасящей среды или дуги для более эффективного, чем при простом разрыве, гашения дуги.

105. *Поперечное дутье.* Дутье, при котором направление струи дугогасящей среды в основном перпендикулярно направлению дуги.

106. *Продольное дутье.* Дутье, при котором направление струи дугогасящей среды в основном параллельно направлению дуги.

107. *Гасительная камера (дугогасительное устройство) собственного дутья.* Гасительная камера (дугогасительное устройство), в котором дутье дугогасящей среды создается давлением газов, выделяемых воздействием газимой дуги.

108. *Гасительная камера (дугогасительное устройство) постороннего дутья.* Гасительная камера (дугогасительное устройство), в которой дутье дугогасящей среды создается от постороннего источника.

109. *Гасительная камера масляного дутья.* Гасительная камера со специальным устройством для создания гасящей дуги струи масла.

110. *Дутье с генерирующим промежутком.* Дутье, получающееся посредством разделения дуги на две части, причем давление, генерируемое одной частью дуги, используется для создания дутья на другую часть дуги.

111. *Дутье с авторегулируемым генерирующим промежутком.* Дутье с генерирующим промежутком, который изменяется определенным образом в зависимости от давления в дугогасительном устройстве.

112. *Парная камера масляного дутья.* Масляное дутье с генерирующим промежутком, при котором генерирующим и газимым участками дуги являются два промежутка двукратного разрыва коммутационного а. в. н.

113. *Продольно-щелевая камера масляного дутья.* Камера масляного дутья (п. 109), в которой дутье создается посредством затягивания дуги магнитным полем в узкую щель в изоляционном материале, ось которой параллельна движению траверзы а. в. н.

114. *Расширительная камера.* Гасительное устройство жидкостного выключателя, отличающееся резким спадом давления за счет резкого увеличения сечения щелей (выходных отверстий) камеры в процессе отключения.

115. *Камера магнитного дутья с металлической решеткой.* Гасительное устройство электромагнитного выключателя (п. 13), характеризующееся рассеиванием затягиваемой магнитным полем дуги на большое число коротких дуг, горящих между металлическими пластинами.

116. *Лабиринтно-щелевая камера магнитного дутья.* Гасительное устройство электромагнитного выключателя (п. 13), в котором дуга затягивается магнитным полем в узкие щели специального профиля в дугостойком изоляционном материале, что вызывает возрастание сопротивления дуги.

117. *Щели — выхлопные отверстия (гасительной меры).* Отверстия (обычно боковые) в гасительной камере для выхода струй дугогасящей жидкости или газа.

118. *Горловина (гасительной камеры).* Отверстие гасительной камеры, из которого выходит контактный сень.

119. *Держатель (гасительной камеры).* Промежуточная деталь между вводом и гасительной камерой, служащая для придания гасительной камере определенного положения.

120. *Шунтирующее сопротивление (гасительной меры).* Активное сопротивление (постоянное или зависящее от напряжения), включаемое параллельно части дугостойного устройства для улучшения условий его работы в отношении гашения дуги и изоляции.

(Продолжение проекта печатается в № 3 журнала).



О ГОСТ на постоянные магниты

Кандидат техн. наук Я. М. ДОВГАЛЕВСКИЙ

Саратов

Введенный в действие с 1 января 1949 г. ГОСТ 4402-48 на литые постоянные магниты впервые систематизировал выполненную за последние 10—15 лет большую работу советских ученых и производственников по изысканию, производству и применению так называемых α -сплавов для постоянных магнитов. Применение постоянных магнитов все более расширяется (в электрических генераторах, в магнето, магнитометрах, реле, гальванометрах, в телефонии и т. д.). Проведение стандартизации способствует улучшению технологии и повышению качества продукции.

ГОСТ 4402-48 разделяет литые, термообработанные магниты на 3 группы: с нормальной, повышенной и высокой удельной магнитной энергией. В последней группе литые магниты из сплавов, подвергающихся термической обработке в магнитном поле и имеющих анизотропию свойств (высокие свойства, приводимые в ГОСТ для данной группы сплавов, относятся к направлению приложенного магнитного поля при термомагнитной обработке).

В основу маркировки сплавов положены буквенные обозначения основных элементов, входящих в сплав, и порядковый номер. Так, сплавы, содержащие кроме железа никель, алюминий и иногда медь, соответственно обозначаются АН1, АН2, АН3. Сплав с добавкой кремния — АНК. Сплавы, имеющие в качестве одного из компонентов кобальт — АНКО1, АНКО2, АНКО3 и АНКО4. Для сохранения преемственности имеется также указание на старые обозначения (ални, алниси, алнико, магнико). В химическом составе, являющемся факультативным, приводятся средние данные о процентном содержании основных компонентов и указывается на максимальный процент допустимого содержания марганца и углерода. Оговаривается, что содержание углерода должно быть не более 0,03%. Этот момент является весьма существенным, так как брак, получающийся в производственных условиях, часто связан с повышенным содержанием углерода в сплаве.

Специальные указания в ГОСТ относятся к внешнему виду отливок и шлифованных магнитов. Недопустимым считается наличие трещин на поверхности; мнение некоторых работников о том, что выпуск магнитов без трещин, сколов и других дефектов невозможен, голословно, так как правильно составленный и умело проводимый технологический процесс обеспечивает получение качественных во всех отношениях магнитов.

Важнейший раздел ГОСТ посвящен магнитным свойствам, которые должны обеспечиваться тем или иным сплавом для постоянных магнитов. Здесь, кроме обычных данных о величинах остаточной индукции (B_r) в гауссах и коэрцитивной силы (H_c) в эрстедах, даются также гарантируемые значения удельной магнитной энергии ($\frac{BH}{8\pi}$ макс) в эрг/см³. Эта последняя величина очень

важна для конструкторов при расчете магнитноэлектрических машин и приборов.

Рекомендации ГОСТ о режимах термической обработки сплавов предусматривают, в частности, режим термической обработки в магнитном поле анизотропных сплавов АН и АНКО4.

В разделах, посвященных правилам приемки и методам испытания, устанавливаются требования к сплавам по плавкам и об обязательном магнитном измерении каждого магнита с определением остаточной индукции и коэрцитивной силы (H_c). Для анизотропных сплавов (АНКО3 и АНКО4) устанавливается помимо того, обязательность определения удельной магнитной энергии (партии магнитов). Что касается магнитных измерений, здесь предлагается обычная методика замера остаточной индукции (баллистическим методом или флюксметром) коэрцитивной силы (коэрцитометром или мессгенератором). Допускается по соглашению заказчика и поставщика проверка магнитов по остаточному потоку или магнитному моменту (в последнем случае измерения производятся магнитометром, конструкция которого и методика измерения согласовываются между сторонами).

Выпущенный в 1949 г. стандарт является первым опытом нормализации магнитов и не свободен от недостатков. Опыт его внедрения на некоторых заводах показывает, что должны быть уточнены отдельные магнитные характеристики для некоторых сплавов. Имеются также предложения о расширении номенклатуры стандартизуемых сплавов, об уточнении методов магнитных измерений и другие.

Эти и другие предложения следует обсудить, чтобы создать предпосылки для разработки более полного улучшенного стандарта, обязательного для всех отраслей промышленности.

Опыт стандартизации сплавов для постоянных магнитов показывает большое значение этого мероприятия. Поэтому Управление стандартизации Гостехники СССР должно приступить к стандартизации и других электротехнических сплавов (высокопроницаемых, типа пермаллой, сплавов с постоянной проницаемостью, термомагнитных сплавов и других).

ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция просит читателей, имеющих предложения в развитие поднятого Я. М. Довгалеvским вопроса о стандартизации ГОСТ 4402-48, прислать их для опубликования в одном из ближайших номеров журнала.



К проекту стандарта на номинальные напряжения стационарных электрических сетей¹

Доктор техн. наук, проф. О. Б. БРОН

Ленинград

Электрические аппараты на напряжение 1 000 в. Изготавливаемая нашими электроаппаратными заводами выключающая и пускорегулирующая аппаратура в основном рассчитана на напряжения до 500 в. Переход на напряжение 1 000 в потребует разработки новой или реконструкции ныне выпускаемой аппаратуры. Степень сложности разработки новых типов аппаратов или реконструкции существующих различна. В связи с этим рассмотрим каждый из них в отдельности.

Рубильники. При напряжении 1 000 в в распределительных устройствах можно применять только рубильники, снабженные приводом. Выпускаемые рубильники этого типа рассчитаны на отключение постоянного тока при 500 в. Они смогут отключать переменный ток при напряжении 1 000 в только тогда, когда будут приняты меры, препятствующие перебросу дуги между фазами и на соседние заземленные или токоведущие части распределительных устройств. Для этого целесообразно ножи рубильников поместить между изоляционными перегородками (цемент-асбестовыми). Подводы тока к рубильникам сделать так, чтобы электродинамические силы, возникающие между током в дуге и в подводящих проводах, препятствовали перебросу дуги между фазами. Схема расположения таких подводов тока показана на рис. 1. Изложенное относится к рубильникам распределительных устройств.

Рубильники распределительных ящиков потребуют повышения надежности гашения дуги в относительно ограниченном объеме, что может быть достигнуто установкой

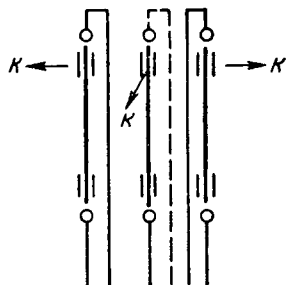


Рис. 1. Силы K препятствуют перекрытию между полюсами.

Пунктиром показан провод, расположенный под ножом средней фазы.

искогасительной решеткой (рис. 2). Применение решетки позволит осуществить реконструкцию распределительных ящиков при относительно небольшом увеличении габаритов.

Искогасительную решетку можно рекомендовать и для установки рубильников в распределительных устройствах. Пластины решетки стальные, поэтому удорожание конструкции будет небольшим (до 20%).

Плавкие предохранители. Заводы выпускают два типа предохранителей для защиты мощных низковольтных це-

пей — трубчатые разборные типа ПР-1 и неразборные с мелкозернистым наполнением (засыпные предохранители).

Разборные предохранители типа ПР-1 не смогут работать при напряжении 1 000 в переменного тока. В них повышение напряжения вызывает увеличение длины плавкой вставки и объема того пространства, в котором гаснет дуга. Плавкую вставку придется удлинить для надежного

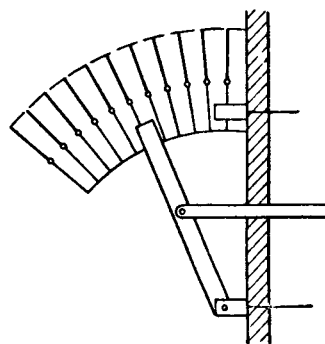


Рис. 2. Рубильник с искрогасительной решеткой.

гашения дуги при перегрузках, а объем пространства увеличить для надежного гашения при коротких замыканиях. Дуга в предохранителях ПР-1 гаснет вследствие высокого давления газов, развивающихся в ограниченном объеме трубчатого предохранителя. Давление P определяется соотношением [Л. 1].

$$P = \frac{Li^2}{2V}.$$

С ростом напряжения увеличивается и индуктивность L . Для того чтобы давление P не превышало опасной для предохранителя величины, придется повышать объем V .

Новая серия разборных предохранителей типа ПР на напряжение 1 000 в потребует увеличения длины почти в два раза.

Предохранители с мелкозернистым наполнителем типа ПР более целесообразно применять для напряжения до 1 000 в. Правда, выпускаемые засыпные предохранители тоже негодны для рассматриваемого нами напряжения. Однако создание на их базе новой серии позволит уменьшить габариты (длину) почти в два раза. Они будут иметь габариты разборных трубчатых предохранителей на 500 в. Основные металлические детали существующей серии засыпных предохранителей можно будет использовать в новой серии на 1 000 в. Придется лишь удлинить изоляционную трубку и плавкие вставки. Стоимость патронов к предохранителям на 1 000 в превышает стоимость патронов на 500 в не более чем на 30%.

Недостатком новой серии предохранителей явится повышение величины перенапряжений по сравнению с тем, что имеет место в настоящее время.

Как показали исследования А. М. Мелькумова и З. Л. Жиронкиной [Л. 2], кратность перенапряжений в за-

¹ См. Электричество, № 1, 4, 5, 6 и 7, 1950.

сыльных предохранителях растет линейно с увеличением длины плавкой вставки. Для выпускаемых предохранителей перенапряжения достигают двухкратной к номинальному напряжению величины. В новой серии при увеличении длины плавкой вставки перенапряжения достигнут четырехкратной величины. Однако, следует иметь в виду их импульсный характер, что снижает опасность пробоя изоляции.

Автоматические выключатели. Универсальные автоматы. Автоматические выключатели для распределительных устройств типа А-2010, А-2020, А-2030 имеют искрогасительную решетку и рассчитаны на отключение 500 в постоянного и переменного тока. Переход на 1000 в переменного тока потребует некоторой реконструкции дугогасительной камеры, связанной с гашением дуги при малых токах, когда электродинамические силы еще недостаточны для того, чтобы вогнать дугу в решетку. При отключении больших токов существующие камеры, по задумке, будут работать удовлетворительно и при напряжении 1000 в, так как они имеют повышенное число пластин, что в свое время было обусловлено необходимостью отключения 500 в постоянного тока. Как известно [Л. 3], при постоянном токе на промежутке между двумя пластинами искрогасительной решетки ложится напряжение 25—35 в, а при переменном токе в момент его прохождения через нуль дуга восстанавливается только тогда, когда это эффективное значение напряжения превосходит 165 в. Автоматы серии А имеют более 25 пластин, и они смогут достаточно надежно отключать переменный ток при напряжении 1000 в без коренного изменения. Габариты могут несколько возрасти, главным образом за счет дугогасительного устройства. Общая стоимость новых автоматов на 1000 в превзойдет стоимость выпускаемых не более чем на 30—40%.

Основные детали существующих конструкций могут сохраниться и в новых автоматах.

Установочные автоматы выпускаемой серии, заключенные в корпуса из глассмассы, рассчитаны на напряжения, не превосходящие 380 в переменного тока. Переход на 1000 в переменного тока потребует разработки совершенно новой серии. Существующая серия не может быть применена вследствие как недостаточных расстояний по изоляции, так и по ограниченным возможностям дугогасительного устройства. В новой серии могут быть сохранены те же конструктивные принципы, но это будет совсем новая серия с увеличенными раза в два габаритами и стоимостью.

Контакты. Переход на напряжение 1000 в потребует разработки новой серии.

Гашение дуги при помощи искрогасительной решетки, примененное в выпускаемых контакторах типа КТ, можно сохранить и в новой серии. Однако конструктивное оформление этой решетки следует существенно изменить. Основная задача — загнать дугу в область, занятую решеткой, так чтобы она попала в достаточное для ее гашения число промежутков между пластинами. Это может быть достигнуто системой рогов, по которым будут двигаться опорные точки дуги, а также, возможно, введением дополнительного магнитного дутья. При этом нужно считаться с возможным увеличением габаритов и стоимости процентов на 50. Разработка новой серии коснется главным образом дугогасительной камеры. Контактная система в каждой фазе, а равно и магнитная система могут оставаться неизменными. Неизменным должно остаться и напряжение для питания втягивающих катушек. Поднимать напряжение выше 380 в в катушках контакторов опасно вследствие возможного пробоя изоляции. Придется ставить понижающие трансформаторы или, что по нашему мнению рациональнее, переходить на питание цепей управления постоянным током и ставить выпрямители.

Применение напряжения выше 380 в в цепях управления неприемлемо и потому, что это вызвало бы изменение всех блок-контактов, реле, кнопок управления, командоаппаратов и т. д. Если уже будут введены трансформаторы или выпрямители для цепей управления, то целесообразно снизить напряжение для них до 110 в, а может быть и до меньшей величины. Возможно, это позволило бы применять реле и аппараты слаботочной техники (телефонно-телеграфного типа), что даст значительную экономию габаритов и стоимости.

Для маломощных двигателей широкое распространение получили пускатели ПМО на номинальный ток до 20 а.

При переходе на напряжение 1000 в пускатель должен получить широкое применение. Он будет управлять пятью электродвигателями до 25 квт (при $\cos \varphi = 0,75$). Фактор этого пускателя, как не имеющий дугогасительного устройства, нельзя будет применить при напряжении 1000 в и придется разрабатывать совершенно новый с новой контактной системой и дугогасительным устройством.

Магнитные пускатели и панели управления. Так как напряжение цепей управления не может превышать 380 в, то все контакторы, переключающие ступени сопротивления все реостаты, реле, регуляторы не подвергнутся изменениям. Возможно потребуются усиление изоляции некоторых реостатов относительно корпуса, что не представляет трудностей. Заметим, что уже сейчас нормальная низковольтная аппаратура применяется для пуска асинхронных двигателей с напряжением 1000 в в роторе.

Экономия цветных металлов. Указывая степень упрочнения аппаратов, связанную с переходом на напряжение 1000 в, мы сравнивали между собой аппараты, изготовленные по номинальному току и отличающиеся по напряжению. Это не дает полной картины, так как повышение напряжения приводит к уменьшению тока при управлении установками одинаковой мощности, что уменьшает расход меди на токоведущие части аппаратов.

Выше мы приводили соображения, которые показывают, что переход на напряжение 1000 в должен увеличивать стоимость аппаратов. Последнее соображение говорит в пользу их стоимости.

Выводы. Переход на напряжение 1000 в переменного тока потребует реконструкции существующих аппаратов низкого напряжения, а в ряде случаев создание новых конструкций. Однако новые аппараты по своим габаритам и устройству не будут принципиально отличаться от существующих.

Увеличение напряжения цепей управления выше 380 нецелесообразно.

При рассмотрении вопроса о переходе на напряжение 1000 в предполагается, что величины токов короткого замыкания останутся неизменной, т. е. такой же, как и в существующих установках с напряжением 500 в.

Литература

1. О. Б. Брон и И. М. Песис. Плавкие предохранители большой разрывной мощности. Электричество № 11, 1934.

2. А. М. Мелькумов и Э. Л. Жиронкин. Новые низковольтные предохранители. Электричество, № 1947.

О. Б. Брон. Движение электрической дуги в магнитном поле, Госэнергоиздат, 1944.

Инж. Х. С. АРАКЕЛОВ

Кавэлектромонтаж МСПТИ

При современных принципах электроснабжения промышленных предприятий случаи отдаленного расположения электродвигателей от трансформаторов являются исключением, на которые не следует ориентироваться. При напряжении 1000 в в промышленности и в сельском хозяйстве не избавляет от необходимости применения напряжения 380 в для основной массы маломощных электроприемников, которые по экономическим соображениям едва ли будут целесообразно изготавливать на 1000 в. Таким образом, напряжение 1000 в не заменит существующих напряжений 380 и 500 в, а явится новым промежуточным напряжением, что приведет к необходимости иметь в большинстве предприятий одновременно электродвигатели на 380 и 1000 в.

Нам представляется целесообразным включение в новый ГОСТ такого напряжения выше 380 в, которое, заменив напряжения 380 и 500 в, найдет широкое распространение в промышленности и позволит в значительных размерах сэкономить цветной металл. Напряжение $500 \cdot \sqrt{3} = 865$ в не найдет широкого распространения, так как оно может быть применено только на химических и подобных заводах с относительно большой средней мощностью электродвигателей. Кроме того, нет смысла

сводить новое напряжение 865 в, которое органически связано с таким мало распространенным напряжением, как 500 в. Напряжение $380 \cdot \sqrt{3} = 660$ в, связанное с наиболее широко распространенным напряжением 380 в, можно, безусловно, найти большое применение на всех новостройках и реконструируемых предприятиях. Изготовление электродвигателей 660 в едва ли вызовет затруднения, так как это напряжение находится ближе двух других к 500 в, для которого в настоящее время выпускаются мелкие двигатели. Нам известны случаи изготовления нашей электропромышленностью электродвигателей 330 в, соединенных в треугольник, вместо обычных, соединенных в звезду. Автору известно также металлообрабатывающее предприятие, где находятся в эксплуатации импортные электродвигатели малой мощности с паспортами на 380/660 в. Это позволяет предположить, что изготовление электродвигателей даже малой мощности на 660 в едва ли может представлять затруднения. Мелкие термические и сварочные электроприемники при необходимости могут изготавливаться на фазное напряжение 380 в.

Нельзя согласиться с мнением С. М. Лившица¹, который считает, что в современном электроснабжении тенденции к повышению напряжения свыше 380 в противопоставляется разукрупнение подстанций с расположением их в центре нагрузок и развитие заводского производства комплектных подстанций и дешевых силовых конденсаторов (для повышения коэффициента мощности) низкого напряжения. Далеко не всегда разукрупненные подстанции можно расположить в центре нагрузок и можно применить комплектные подстанции и силовые конденсаторы низкого напряжения. Например, если все это применимо для металлообрабатывающих предприятий, то совершенно неприемлемо для предприятий химической промышленности и им подобных, для которых недопустимо применение внутрицеховых подстанций и силовых конденсаторов в цехах. Нет никаких оснований считать, что напряжение 380 в является каким-то оптимальным и предельным и поэтому не подлежащим замене на более высокое.

С введением в новый ГОСТ напряжения 660 в отпадает необходимость в намеченном промежуточном напряжении 1000 в, и это напряжение целесообразно включить в ГОСТ.

Кандидат техн. наук, доц. Б. М. ПЛЮЩ
и кандидат техн. наук, доц. М. А. ЭСИБЯН

Азербайджанский индустриальный институт
и.м. Азизбекова

В проекте стандарта на номинальные напряжения предусматривается напряжение 1000 в вместо существующего 500 в. Необходимость в более высоком напряжении давно назрела. Следует отметить, что напряжение 500 в не связано с 380 в соотношением $\sqrt{3}$, вследствие чего переход на это напряжение от существующего 380 в сильно затрудняется. Предлагаемые напряжения 1000 в по проекту стандарта и 865 в Е. Н. Прикладским считаем нецелесообразными. Лучше ввести напряжение 660 в, что

можно обосновать следующим технико-экономическим сравнением.

Для диапазона мощностей до 25 кВт* средняя мощность электродвигателей может быть принята 6 кВт. Учитывая наличие в эксплуатации двигателей мощностью свыше 25 кВт, среднюю установленную мощность можно принять приблизительно 8 кВт. В табл. 1 приведены результаты сравнительных расчетов для плотностей нагрузок $\sigma = 0,05, 0,10$ и $0,15 \text{ кВА/м}^2$ при среднем коэффициенте спроса $K_c = 0,25$ и коэффициенте мощности 0,7 с учетом, что плотность электрических нагрузок σ связана с плотностью установленной мощности P соотношением

$$\sigma = \frac{K_c \delta}{\cos \varphi},$$

получим следующие основные данные (табл. 1).

Таблица 1

Площадь предприятия, м ²	Плотность нагрузки, σ , кВА/м ²	Удельная установленная мощность δ , кВт/м ²	Установленная мощность двигателей P , кВт	Количество двигателей, шт.	Суммарная потребляемая мощность S , кВА
100 000	0,05	0,14	14 000	1 750	5 000
100 000	0,10	0,23	28 000	3 500	10 000
100 000	0,15	0,42	42 000	5 250	15 000

Исходя из данной А. С. Либерманом формулы оптимальной мощности подстанции

$$S_{оп} = 33 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{U^2 \sigma}{k^2 (0,55 + 0,085 f \tau)^2}}$$

и приняв стоимость $f = 0,09 \text{ руб./кВт}$, продолжительность использования максимума потерь $\tau = 4000 \text{ час}$, получим:

$$S_{оп} = 2,62 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{U^2 \sigma}.$$

Рассчитанные по этой формуле оптимальные мощности однотрансформаторных подстанций приведены в табл. 2.

Средняя длина питательной линии (табл. 3) определяется по формуле

$$L_{cp} = 0,5 k \sqrt{F_n},$$

где $k \approx 1,25$ — коэффициент конфигурации;

F_n — площадь, приходящаяся на 1 подстанцию, м²;

n — число подстанций.

Среднее сечение питающих проводов принимаем при $\sigma = 0,05$ — 16 мм², при $\sigma = 0,1$ — 25 мм² и при $\sigma = 0,15$ — 35 мм² — для 380 в; для остальных напряжения сечения рассчитаны из условия равенства потерь.

* М. М. Зильберштейн. Вестник электропромышленности, № 9, 1948.

Таблица 2

Плотность нагрузки σ , кВА/м ²	Потребная мощность всех подстанций, кВА	380 в		500 в		660 в		865 в		1 000 в	
		$S_{оп}$	Принятое число и мощность подстанций, кВА	$S_{оп}$	Принятое число и мощность подстанций, кВА	$S_{оп}$	Принятое число и мощность подстанций, кВА	$S_{оп}$	Принятое число и мощность подстанций, кВА	$S_{оп}$	Принятое число и мощность подстанций, кВА
0,05	5 000	503	9×560	610	4×750 4×660	735	7×750	875	3×1 000 3×750	970	5×1 000
0,10	10 000	640	9×750 6×560	770	14×750 9×1 000	925	3×750 8×1 000	1 100	7×1 000 2×1 350	1 220	6×1 350 2×1 000
0,15	15 000	735	20×750	885	8×750	1 060	15×1 000	1 265	10×1 350 2×1 000	1 400	11×1 350

¹ Электричество, № 1, 1950.

Табл.ш

$\sigma, \text{кв}/\text{м}^2$	380 в			500 в			660 в			865 в			1 000 в	
	n	F_n	I_{cp}	n	F_n	L_{cp}	n	F_n	L_{cp}	n	F_n	L_{cp}	n	F_n
0,05	9	11 100	66	8	12 500	70	7	14 000	75	6	16 700	81	5	20 000
0,10	15	6 650	51	14	7 150	53	11	9 100	60	9	11 100	66	8	12 500
0,15	20	5 000	45	17	5 900	48	15	6 650	51	12	8 350	57	11	9 100

Средние сечения проводов ответвлений и номинальные токи двигателя указаны в табл. 4.

Таблица 4

$U_n, \text{в}$	380	500	660	865	1 000
$I_n, \text{а}$	18	13,6	10,4	7,9	6,8
$q, \text{мм}^2$	3,1	2,35	1,78	1,35	1,17

Сечения ответвлений выбирались по формуле

$$q = \frac{I_{\text{пуск}}}{35}$$

где $I_{\text{пуск}}$ — пусковой ток двигателя, принимаемый равным $6I_n$.

В табл. 5 даны число и сечения кабелей питательной сети. Средняя длина ответвлений определяется по формуле

$$l_{cp} = 0,5 k \sqrt{\frac{F}{m}}$$

Потери в ответвлениях в распределительной сети находятся в пределах 0,14—0,37%, т. е. они весьма незначительны и могут не учитываться.

При сравнении напряжений следует учитывать также, что при средней мощности двигателей порядка 8 кВт расход материалов в двигателях и стоимость их с увеличением напряжения будут возрастать. Расход приведенного цветного металла в трансформаторах (с учетом ак-

Табл.ш

$\sigma, \text{кв}/\text{м}^2$	число линий m	380 в		500 в		660 в		865 в		1 000 в	
		I_{cp}	q	L_{cp}	q	L_{cp}	q	L_{cp}	q	L_{cp}	q
0,05	133	66	16	70	9,8	75	6,1	81	3,8	88	3,1
0,10	202	51	25	53	15,0	60	9,8	66	6,3	70	4,95
0,15	254	45	35	48	21,6	51	13,2	57	8,6	60	7,6

тивной стали) в аппаратуре и ошиновке подстанций может быть принят равным: $G = G_0 n + g_0 S$.

где G_0 — постоянная составляющая расхода цветного металла, не зависящая от мощности, равная 200 кг; g_0 — 1,14 кг/кв; S — мощность подстанций.

В табл. 6 приведены рассчитанные, исходя из выше указанных данных, расходы приведенного цветного металла. Из таблицы видно, что минимальный расход имеет место при напряжении 660 в. Для небольших предприятий с малой средней установленной мощностью двигателя (порядка 1—5 кВт) при средних плотностях нагрузок целесообразно применять напряжение 380 в.

Напряжениям 865 и 1 000 в помимо того, что они менее экономичны, чем 660 в, присущ тот недостаток, что при этих напряжениях потребуются применение более дорогой аппаратуры и усиление изоляции проводов, абели до 1 000 в будут работать на пределе своей изоляционной прочности. Что касается напряжения 500 в, оно должно быть исключено из стандарта.

Таблиц

Напряжение, в	380	500	660	865	1 000
Плотность нагрузок, $\text{кв}/\text{м}^2$	$\sigma = 0,05$				
Сечения линий питательной сети, мм^2	16	9,8	6,1	3,8	3,1
Длина питательных линий, м	66	70	75	81	88
Удельный расход, $\text{кг}/\text{км}$	640	450	350	268	248
Расход во всей питательной сети, кг	$133 \times 0,066 \times 640 = 5 620$	4 200	3 500	2 890	2 910
Сечение ответвлений, мм^2	3,1	2,35	1,78	1,35	1,17
Длина ответвлений, м	17	17	17	17	17
Удельный расход, $\text{кг}/\text{км}$	$27,4 \times 3 = 82,2$	62,4	47,4	35,7	31,2
Расход во всех ответвлениях, кг	$1 750 \times 0,017 \times 82,2 = 2 440$	1 850	1 410	1 060	930
Расход в трансформаторных подстанциях, кг	$9 \times 200 + 5 000 \times 1,14 = 7 500$	7 300	7 100	6 900	6 700
Расход в электродвигателях, кг	$14 000 \times 1,5 = 21 000$	21 000	22 050	23 730	25 200
Суммарный расход в установке, кг	36 560	34 350	34 060	34 580	35 740
То же при $\sigma = 0,10$	70 450	65 870	65 480	67 120	69 430
То же при $\sigma = 0,15$	104 300	98 450	96 700	99 090	102 940



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И СИНТЕЗА

Разработке приборов и различных устройств, позволяющих сравнительно просто находить амплитуды и фазы гармонических составляющих, уделяется большое внимание.

Такого рода электрический аппарат, предназначенный для гармонического анализа кривых, заданных таблицей значений ординат, построен в ЭНИИ. Его устройство основано на следующем.

В гармоническом ряде

$$f(x) = A_0 + A_1 \sin x + A_2 \sin 2x + \dots + B_1 \cos x + B_2 \cos 2x + \dots \quad (1)$$

приближенное значение коэффициентов, после того как анализируемая кривая будет разбита на n равных частей и сделан переход к градусному исчислению, будет иметь вид:

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} y_i; \quad A_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{i=n} y_i \sin \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right);$$

$$B_k = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{i=n} y_i \cos \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right),$$

где i — номер ординаты.

На этих формулах и основана работа аппарата.

Рассмотрим схему (рис. 1). Пусть движок D перемещается по вторичной обмотке трансформатора питания T_1 . Тогда напряжение U_i , подаваемое на первичную обмотку трансформатора T_{2i} , может меняться от 0 до $\pm U$. Примем, что ординаты анализируемой кривой выражаются напряжениями U_i , т. е. $y_i = cU_i$, где c — коэффициент пропорциональности. Пусть вторичная обмотка w_0 имеет число витков в p раз меньшее, чем обмотка w_1 , тогда напряжение на концах обмотки w_0 будет равно $\frac{1}{p} U_i$.

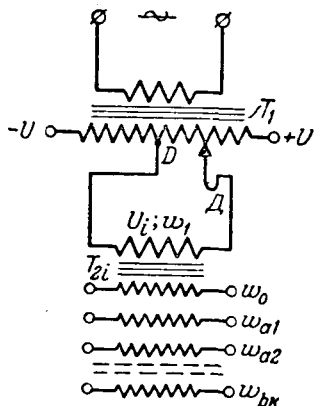


Рис. 1.

Если возьмем n таких элементов (трансформаторов), движками D установим на них напряжения U_i , пропорциональные (с учетом знака) соответствующим ордина-

там y_i , и соединим вторичные обмотки w_0 в последовательную цепочку, то на ее концах будет напряжение

$$E_0 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{p} U_i = \frac{1}{pc} \sum_{i=1}^{i=n} y_i.$$

Следовательно, измерив напряжение E_0 , определим коэффициент A_0 .

Для определения коэффициентов A_k сделаем дополнительные обмотки. Число витков в этих обмотках выберем по соотношению

$$w_{ak} = w_0 \sin \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right).$$

Взяв попрежнему n трансформаторов (рис. 2) и соединив вторичные обмотки с одинаковыми индексами

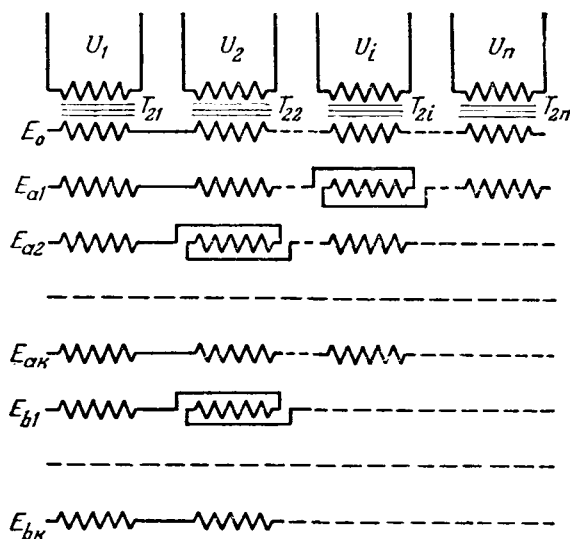


Рис. 2.

в последовательные цепочки, будем иметь на концах цепочек напряжения

$$E_{ak} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{p} U_i \sin \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right) = \frac{1}{pc} \sum_{i=1}^{i=n} y_i \sin \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right).$$

Аналогично поступаем и для определения коэффициента B_k , для чего на тех же n трансформаторах сделаем на каждом еще по k обмоток с соотношением витков $w_{bk} = w_0 \cos \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right)$ и, соединив также в цепочки, получим напряжения

$$E_{bk} = \frac{1}{pc} \sum_{i=1}^{i=n} y_i \cos \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right).$$

Таким образом определим в масштабе $2p/n$ значения коэффициентов A_0 , A_k и B_k .

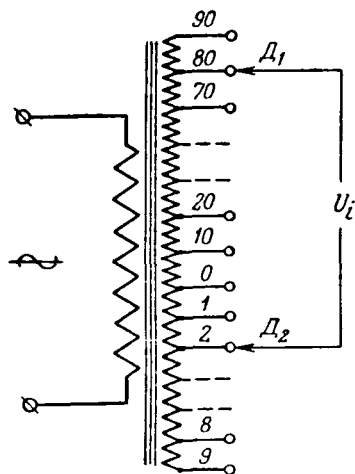


Рис. 3

Питание трансформаторов T_{2i} различными напряжениями можно осуществить разнообразными способами, например, по схеме, показанной на рис. 3. При необходимости изменить знак напряжения U_i аналогично знаку соответствующих ординат следует лишь поменять контакты D_1 и D_2 своими местами.

Гармонический ряд (1), как известно, приближенно выражается:

$$v_i = A_0 + \sum_{k=1}^n \left[A_k \sin \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right) + B_k \cos \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right) \right].$$

Рассмотрение этого выражения показывает, что, пользуясь рассуждением, подобным предыдущему, можно обосновать выполнение устройства совершенно аналогично описанному для определения ординат кривой, если известны амплитуды составляющих гармоник.

Схема такого устройства показана на рис. 4. В отличие от прежнего вместо напряжений, выражающих ординаты, на трансформаторы T_{2i} подаются напряжения, пропорциональные коэффициентам A_k и B_k , а вторичные обмотки соответствующих трансформаторов выполняются с числами витков, пропорциональными значениям

$$\sin \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right) \text{ или } \cos \left(k \frac{360^\circ}{n} i \right).$$

Такое устройство позволяет решать обратную задачу — синтез кривых.

В аппарате могут быть совмещены оба устройства для решения задач как анализа, так и синтеза кривых.

В этом аппарате измеряющее устройство будет общим. Следует отметить, что случайная ошибка, допущенная при решении одной из задач, легко может быть обнаружена решением обратной задачи.

Построенный и испытанный аппарат для определения 12 гармоник и постоянной составляющей при задании анализируемой кривой 24 ординатами, например, при анализе кривой $f(x) = \sin x$ давал ошибку не больше 1,5%, что вполне приемлемо для широкой практики.

В статье приведена таблица вторичных обмоток трансформаторов гармонического анализа на 24 ординаты и 12 гармоник.

(Известия Академии наук СССР, Отд. технических наук, № 8, 1950, А. Л. Гофлин)

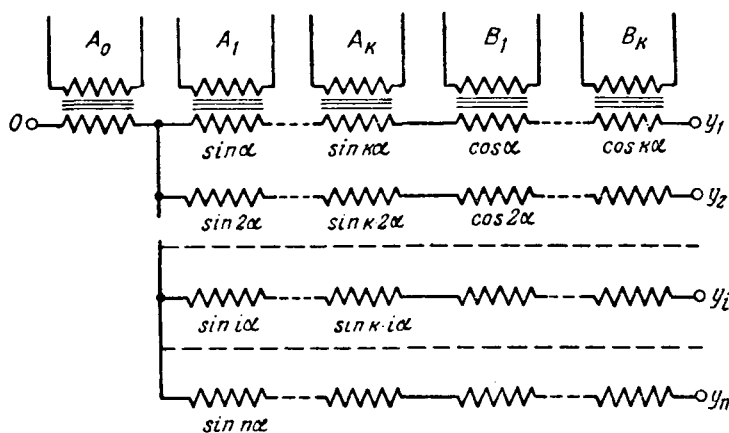


Рис. 4

исследовательских работ по изучению свойств бумаги, а также для контрольных испытаний электрических свойств бумаги, применяемой в конденсаторном производстве. Испытуемые образцы изготавливаются вырубанием кружков (диаметром 75 мм) из стопки листов бумаги имеющей толщину 0,1 мм. При складывании листов в стопку должно быть уделено внимание удалению участков со складками и морщинами.

Основной частью испытательной установки является круглая пластина с тремя углублениями для помещения в них одновременно трех образцов. На дно углубления кладется слой слюды толщиной 25—50 мкм; на слюду ставится измерительный электрод диаметром 50 мм, воздушный зазор между боковой поверхностью этого электрода и основной пластиной составляет 0,1 мм. На измерительный электрод укладывается испытуемый образец бумаги, поверх которого устанавливается массивный электрод высокого напряжения, имеющий диаметр 64 мм. Вес этого электрода подобран с таким расчетом, чтобы получить сжатие испытуемого образца с удельным давлением около 0,2 кг/см². Слюдяная прокладка несколько приподнимает поверхность измерительного электрода над поверхностью основной пластины (пластина при измерениях не используется в качестве охранного кольца), а потому вес верхнего электрода практически распределяется только на поверхность измерительного электрода. Для облегчения сушки бумаги перед измерением в верхнем электрод высверлена система отверстий. В основной пластине, от края до центра просверлено отверстие диаметром 3 мм в которое вставляется термометр для контроля температуры образцов. Электроды изготовлены из сплава, имеющего коэффициент линейного расширения равный $3 \cdot 10^{-4}$ на 1°С. Система электродов помещается на литом стальном диске и закрывается стеклянным колпаком, края которого хорошо приточены к поверхности диска. Уплотнением между стеклом и диском служит проволока, используемая в плавких предохранителях, имеющая диаметр 0,3 мм и слегка покрытая кремнийорганической смазкой. Выводы от электродов сквозь диск осуществлены с помощью стеклянных изоляторов, обеспечивающих вакуумплотную герметизацию. Колпак изготовлен из стекла пирекс. Под колпаком создается высокий вакуум; остаточное давление до 0,5 мкм рт. ст. Испытательное устройство нагревается тремя электрическими лампами мощностью по 150 вт, установленными симметрично вокруг стеклянного колпака (с наружной стороны). Лампы вместе с испытательным устройством покрываются теплоизоляционным кожухом, поверхность которого с внутренней стороны оклеена алюминиевой фольгой. За 5—6 час. температура внутри установки повышается до 100°С; далее начинается действовать регулировка температуры, обеспечивающая постоянство ее в пределах 105—115°С. В случае необходимости используется самопишущий патенциометр, поддерживающий постоянство температуры с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

Для измерения емкости и угла потерь испытуемых образцов используется мост, снабженный усилителем на

ЗА РУБЕЖОМ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОНДЕНСАТОРНОЙ БУМАГИ

В реферируемой статье дано описание установки для определения температурной зависимости угла потерь и диэлектрической проницаемости тщательно высушенной конденсаторной бумаги. Установка применяется для научно-

мпротввлениях с питанием от батарей и специальным плетром для подавления высших гармоник. При напряжении 500 в чувствительность по емкости составляет 0,01% и по углу потерь — $5 \cdot 10^{-6}$ (при коэффициенте мощности до 0,01); точность измерения емкости $\pm 0,02\%$, угла потерь $\pm 2 \cdot 10^{-5}$.

При испытании бумаги сначала производится вакуумная сушка в течение 16—18 час. Затем снимается вакуум, установку выпускается сухой чистый воздух (воздух пропускается через серную кислоту, активированный глинозем — дуплянокисл фосфора) и производится измерение наклонной точки температурной зависимости (при высшей температуре). Далее нагрев выключается, снимается теплоизоляционный колпак и производятся последовательно измерения емкости и угла потерь при постепенном охлаждении установки до комнатной температуры. Испытания показали, что увеличение времени сушки до 32 час не дает заметного изменения измеренных значений емкости и угла потерь. То же можно сказать и об увеличении остаточного давления при сушке до 100 мм.

Установка позволяет получать необходимые данные в влиянии рода исходного волокна и режимов технологического процесса изготовления бумаги на ее электрические свойства. В статье проведено сравнение температурного кода угла потерь образцов сухой бумаги, изготовленных из сульфатной целлюлозы трех разных марок, и показано влияние чистоты воды, применяемой при изготовлении бумаги, на угол потерь. При снижении удельного сопротивления воды от $5 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^4$ ом · см (измеренный при температуре 40°С) $\text{tg} \delta$ сухой бумаги возрастает от $12,7 \cdot 10^{-4}$ до $13,9 \cdot 10^{-4}$.

Исследования бумаги, произведенные с помощью описанной установки, позволили прийти к тому выводу, что ϵ и $\text{tg} \delta$ не пропитанной и пропитанной бумаги можно находить вычислением по формулам, выведенным для простой эквивалентной последовательной схемы. Схема составляется из двух последовательно включенных емкостей — емкости, обусловленной слоями клетчатки, и емкости, обусловленной слоями воздуха (для непропитанной бумаги) или слоями пропиточной массы (для пропитанной бумаги). При расчетах рекомендуется применять следующие значения характеристик клетчатки: диэлектрическая проницаемость $\epsilon_k = 6,6$, тангенс угла потерь $\text{tg} \delta_k = 6 \cdot 10^{-3}$ и плотность $\gamma_k = 1,50 \text{ г/см}^3$. Приведен ряд примеров, показывающих хорошее совпадение результатов расчета с опытными данными.

Следует отметить, что независимо от работ американских исследователей успешное применение последовательной эквивалентной схемы для расчета электрических характеристик бумаги было проведено нами. Некоторые данные по этому вопросу были опубликованы (Электричество, № 1, 1949). Выполненные расчеты и опыты показали, между прочим, что простейшая «двухемкостная» схема и формулы, выведенные на ее основе, применимы лишь в случае пропитки бумаги жидкими диэлектриками. В случае применения для пропитки твердых воскообразных диэлектриков приходится вводить в эквивалентную схему третью емкость, учитывающую ту часть объема пор бумаги, которая остается незаполненной пропитывающей массой, вследствие значительной ее усадки при застывании.

Последовательная эквивалентная схема была также с успехом использована нами для объяснения сложного характера зависимостей, наблюдающихся при пропитке бумажных конденсаторов полупроводящими жидкостями

(Ж. Т. Ф., т. 19, № 2, 1949). В наших расчетах принимались значения характеристик клетчатки, близкие к тем данным, которые были указаны выше, а именно:

$$\epsilon_k = 7, \text{tg} \delta_k \approx 5 \div 10 \cdot 10^{-3} \text{ и } \gamma_k = 1,55 \text{ г/см}^3.$$

(GER, т. 52, № 9, 1949, Н. Endicott.)

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОЙ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ОБОЛОЧЕК ИЗ АЛЮМИНИЯ

Холодная сварка давлением находит все большее и большее применение в различных отраслях промышленности. Одной из новых областей ее применения является кабельная промышленность, где этот метод используется при изготовлении кабелей с алюминиевой оболочкой. Для наложения на кабель алюминиевой оболочки сконструирована специальная установка. Технологический процесс на этой установке осуществляется следующим образом. Смазываемая с катушки алюминиевая лента проходит между двумя формовочными роликами, которые придают ей желобчатую форму и одновременно производят отбортовку кромок, необходимых для последующего выполнения шва. Полученная желобчатая заготовка проходит между двумя быстро вращающимися круглыми проволоочными щетками, очищающими поверхности кромок, подлежащих соединению. Для удаления образующейся металлической пыли установка оборудована вытяжной вентиляцией. После зачистки отбортованных кромок в желобчатую заготовку вводится кабель. Вместе с кабелем заготовка проходит между двумя роликами, придающими ей форму трубы и таким образом, полностью заключающими кабель в алюминиевую оболочку. Далее кабель проходит между сварочными роликами, соединяющими выступающие отбортованные кромки действием высокого давления; одновременно производится срезка лишнего металла. После этого кабель проходит еще через одну пару роликов, сглаживающих неровности и удаляющих заусенцы, образующиеся при обрезке сваренных кромок. Приводными в установке являются только сварочные ролики; все остальные являются холостыми и принудительного движения не получают. Описанная установка может применяться при изготовлении электрических силовых и телефонных кабелей диаметром до 40 мм. Установка позволяет накладывать алюминиевую оболочку на кабели самых разнообразных типов: с резиновой изоляцией и изоляцией из пластмассы, на пропитанные и даже на маслonaполненные кабели. Конструируется еще одна установка, предназначенная для наложения алюминиевой оболочки на кабели малого диаметра (например, на двухжильные электрические кабели для осветительной проводки).

Кабели с алюминиевой оболочкой, наложенной по описанному способу, получают более легкими и прочными, чем обычные кабели со свинцовой оболочкой. Весьма важным обстоятельством является также тот факт, что наложение оболочки по описанному способу производится при комнатной температуре; это дает возможность использовать для изоляции кабелей некоторые диэлектрики, которые неприменимы при обычных способах наложения оболочки.

(Welding, № 4, 1950)

Инж. П. И. ЧЕШЕВ

ПРОЕКТ ШВЕДСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 380 кВ

(Обзор)

В Швеции природные гидроэнергетические ресурсы расположены на севере, а центры потребления электроэнергии — в средней части и на юге страны. Этим объясняется необходимость постройки электропередач на большие расстояния.

При проектировании системы передачи шведские организации, считая, что в ближайшее время нельзя рассчиты-

вать на применение постоянного тока, решили остановиться на трехфазном токе 380 кВ.

Ниже дано изложение шведского проекта системы передачи 380 кВ.

Первая часть проектных работ выполнялась в период 1946—1948 гг., в 1950 г. опубликованы результаты второго этапа проектных работ.

Напряжение передачи — номинальное — 380 кВ, максимальное эксплуатационное напряжение — 400 кВ. Предусмотрена возможность снижения уровня напряжения вследствие трудностей, вызываемых короной или помехами для установок связи.

Заземление нейтрали — глухое. Изоляция трансформаторов — ступенчатая.

Уровни изоляции. В рассматриваемой электропередаче 380 кВ вследствие длины линий, достигающей 900—1000 км, могут возникнуть коммутационные перенапряжения значительной величины. Например, при заземлении фазы линии с последующим отключением фазное напряжение на приемном конце линии может достичь значения более чем 200% нормального, а на шинах 380 кВ генераторной станции фазное напряжение может увеличиться до 180% нормального.

Минимальное амплитудное импульсное напряжение, выдерживаемое высоковольтным оборудованием, находящимся в непосредственной близости от вентильных разрядников, по расчетам может быть 1550 кВ, а для оборудования, установленного относительно дальше от разрядников, может быть 1775 кВ.

В проекте принят уровень изоляции для всей аппаратуры «класса 1775». Все высоковольтное оборудование 380 кВ должно выдерживать следующие испытательные напряжения:

Импульсное полной волной 1/50 мксек	
амплитудное напряжение	1775 кВ
Сухое разрядное эффективное напряжение при 50 гц	976 .
Мокрое 50 гц	781 .

Линейная изоляция должна выдерживать при положительной волне 1/50 мксек в мокром состоянии амплитудное напряжение 1560—1620 кВ.

Проект передачи первой очереди (Гарспренгет — Гальсберг)

Гидростанция Гарспренгет мощностью 290 тыс. кВт строится на крупнейшем в Швеции водопаде, расположенном в 35 км севернее Полярного круга. Машинный зал вырубается в скальном грунте на глубине 75 м.

Расход воды каждой турбиной 107 м³/сек при напоре 107 м. Отработанная вода выводится туннелем длиной 2,9 км и сечением 190 м². В первую очередь вводится в эксплуатацию один агрегат. Часть своей мощности станция должна отдавать местной системе при напряжении 154 кВ, а большую часть передавать на юг страны при напряжении 380 кВ.

Вследствие затруднений с изготовлением трансформаторов и другого оборудования 380 кВ ввод в эксплуатацию линии Гарспренгет — Гальсберг намечен первоначально при напряжении 220 кВ и лишь через несколько лет после этого предполагается перевод ее на 380 кВ.

Схема электростанции изображена на рис. 1. Уменьшения токов короткого замыкания обмотки генераторного напряжения каждого трансформатора 380 кВ делены на 3 изолированные секции, присоединенные к соответствующей фазе генераторов. Эти обмотки раскладываются на трех центральных стержнях пятистержневого сердечника трансформатора. На шинах генераторного напряжения гас устанавливаются также 3 шунтирующие реактора.

Линия 380 кВ Гарспренгет — Гальсберг запроектирована на металлических сварных опорах portalного типа (рис. 2) из стали с сопротивлением растяжению 5200 кг/см². Все металлические части опоры защищены от коррозии горячей оцинковкой. Для фундаментов и промежуточных опор использованы 8—12 деревянных и соединенных балками. Длина линии 954 км. Линия состоит из двух частей — Гарспренгет — Мидског длиной 476 и Мидског — Гальсберг длиной 478 км. Сталеалюминевые провода линии расплечены надвое. Подвесная линия 380 кВ состоит из 20 изоляторов. Общая длина гирлянды с арматурой 4,2 м. Для большинства промежуточных опор применяются одиночные поддерживающие гирлянды с рабочей нагрузкой до 4 т, для опорных и ловых опор применяются строенные и счетверенные гирлянды. Поддерживающие стропы глухие. Предусмотрены антивибрационные демпферы.

Линия защищена двумя тросами 70 мм² с защитным углом 24°. Северная часть линии характеризуется 5 грозными днями в году и имеет сопротивление заземления опор порядка 30 ом, южная соответственно 11 грозных дней в году и 25 ом. При указанных величинах сопротивления заземления опор возможно в среднем 1—2 грозных перекрытия линии в год.

Понижительная подстанция Мидског. Для первой очереди проектом предусмотрено сооружение двух понижающих подстанций. Первая из них — подстанция Мидског — расположена на половине длины линии. Она оборудована группой однофазных трансформаторов 380/220 кВ мощностью 330 мвта и соединяет линию 380 кВ с группой электростанций этого же района общей мощностью 1200 тыс. кВА.

От подстанции Мидског до подстанции Гальсберг линия 380 кВ работает в параллель с мощной сетью 220-кВ линий (до 6 линий). Для регулирования распределения мощности в кольце, образованном линией 380 кВ и линией 220 кВ, на подстанции Мидског установлены регулирующие трансформаторы с регулировкой напряжения в 90° по фазе и на 25% по величине. На подстанции уста-

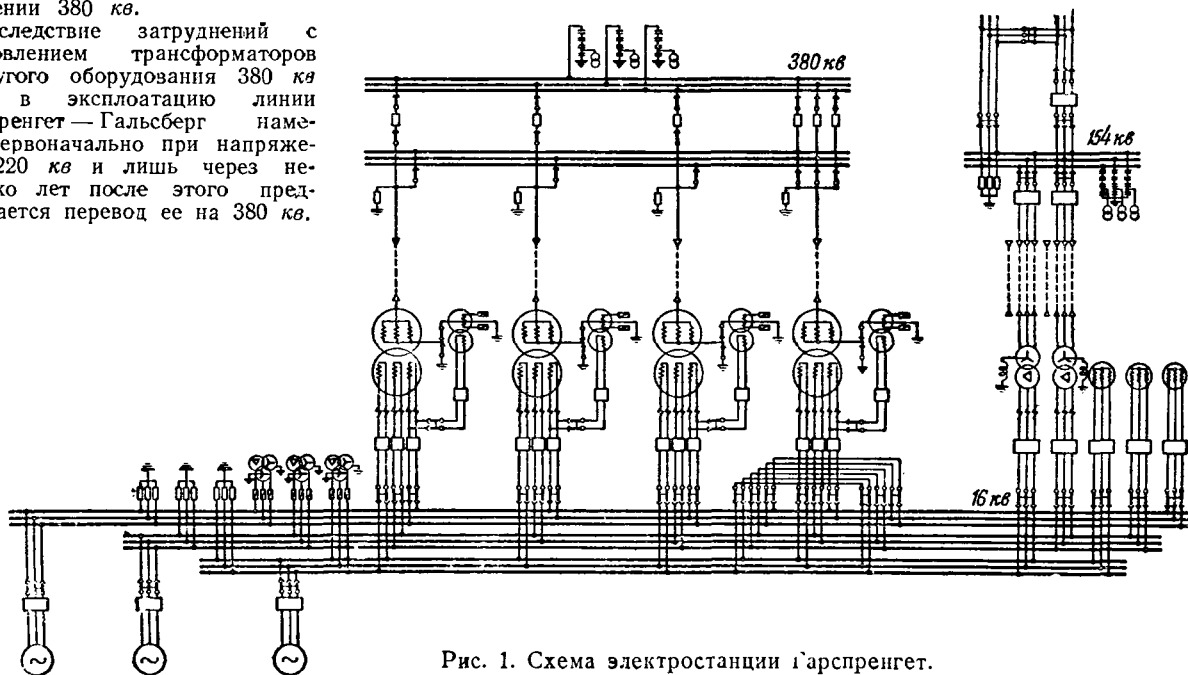


Рис. 1. Схема электростанции Гарспренгет.

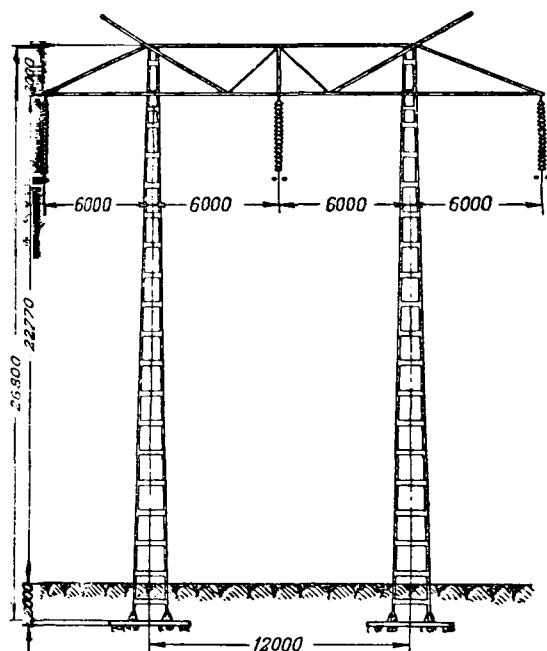


Рис. 2. Промежуточная опора линии 380 кВ.

возведены также 3 шунтирующих реактора по 60 тыс. *квар* каждый.

Оконечная подстанция Гальсберг находится на расстоянии 954 км от гидростанции и оборудована двумя группами трансформаторов 380/220 кВ мощностью по 30 м² каждая, синхронным компенсатором мощностью 75 тыс. *квар* и двумя шунтирующими реакторами по 60 тыс. *квар*. Шины 380 кВ всех подстанций — медные, из этого провода сечением 400 мм².

Проект передачи второй очереди Сторфинфорсен — Килфорсен — Энкёпинг. Проект второй очереди предусматривает сооружение двух гидроstaнций — Сторфинфорсен мощностью 120 тыс. *квт* и Килфорсен мощностью 240 тыс. *квт*. Поскольку пропускная способность первой линии 380 кВ недостаточна, чтобы принять добавочную мощность от этих станций, потребовалось запроектировать сооружение новой линии 380 кВ длиной 470 км, конструкция которой подобна первой линии. Эта линия начинается от гидростанции Сторфинфорсен, соединена на переключательном пункте севернее Мидског с линией 380 кВ Гарспренгет — Мидског — Гальсберг, проходит транзитом через линию 380 кВ гидростанции Килфорсен и заканчивается на развильной подстанции Энкёпинг (100 км западнее Сторфыма).

Схема проектируемой шведской сети 380 кВ изображена на рис. 3. Проектируемые сооружения второй очереди показаны пунктиром.

Критические замечания. По приведенным материалам можно сделать ряд следующих замечаний:

1. Необходимо отметить, что шведский проект сети 380 кВ не использует все возможности этого напряжения.

Мощности гидроstaнций, питающих линию 380 кВ, невелики: 290; 100; 120; 240 м². Мощность передаваемая по линиям 380 кВ, может быть оценена следующим образом.

Первый этап развития. На участке Гарспренгет — Мидског передаваемая мощность будет порядка 20 тыс. *квт*. На участке Мидског — Гальсберг эта мощность увеличивается до 350 тыс. *квт*. Таким образом, расчетные значения соответственно 300 и 400 тыс. *квт* следует считать несколько завышенными, они могут иметь место лишь при отсутствии местной нагрузки гидроstaнций (сеть 154 кВ).

Второй этап развития. Поток энергии на участке Гарспренгет — Мидског 250—300 тыс. *квт*, а на участке Мидског — Гальсберг и по новой линии 380 кВ

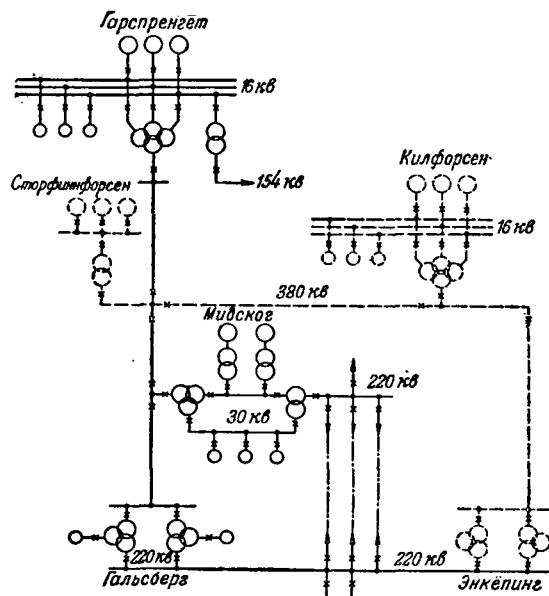


Рис. 3. Схема проектируемой сети 380 кВ

на подстанцию Энкёпинг он будет равен 400 тыс. *квт* на цепь. Следовательно, на северном участке линии величина передаваемой мощности не выше 300 тыс. *квт* при длине передачи ~ 470 км, а для южного участка, соединенного к тому же параллельно с мощной сетью 220 кВ (шесть линий 220 кВ) величина передаваемой мощности не выше 400 тыс. *квар* при той же длине передачи ~ 470 км.

Наличие соединения на половине длины линии с кутом электростанций, мощность которого в 4 раза превышает мощность удаленной гидроstaнции, и наличие соединения с развитой сетью линий 220 кВ, шунтирующей южные линии 380 кВ, значительно улучшает условия устойчивости работы электростанций и в данном случае повышает пропускную способность линий 380 кВ.

Таким образом, в шведском проекте напряжение 380 кВ используется для передачи 250—400 тыс. *квт* на расстоянии до 470 км в весьма облегченных условиях работы.

2. Мероприятия по повышению пропускной способности линии 380 кВ в проекте разработаны недостаточно; использовано, по существу дела, лишь одно мероприятие — применение расщепленных проводов.

3. Экономические показатели передачи не могут считаться удовлетворительными, достаточно указать, что стоимость затрат на сооружение одной линии 380 кВ и 3 подстанций первой очереди (Гарспренгет — Мидског — Гальсберг) составляет 128% от стоимости затрат на сооружение гидроstaнции Гарспренгет.

4. Ряд решений в шведском проекте линии передачи 380 кВ следует признать неудачным и вызывающим сомнения. Например, применение «джерпной» схемы на напряжении 380 кВ на повысительной подстанции Гарспренгет; недостаточная грозупорность линии 380 кВ ($\alpha = 24^\circ$, $R = 25-30$ ом, 1—2 грозовых отключения в год при 5 грозовых днях); применение деревянных шпал для фундаментов опор. Неудачно запроектирована линейная арматура, в частности поддерживающие и натяжные клеммы.

5. Судя по опубликованным материалам, значительная часть вопросов в шведском проекте проработана весьма недостаточно, например: режимы работы передачи, вопросы внутренних перенапряжений, релейная защита, высокочастотная связь по проводам линии и др.

6. Разработка трансформаторов и другой аппаратуры 380 кВ встретила значительные трудности, в результате линия, построенная в габаритах 380 кВ, будет включена после пуска первого агрегата на гидроstaнции Гарспренгет лишь на напряжение 220 кВ.

В заключение необходимо отметить, что советские ученые и инженеры значительно ранее капиталистических стран начали разработку проблем, связанных с напряже-

нием 400 кв. Достаточно указать на конференцию по передачам высокого напряжения, происходившую в 1931 г. в Ленинграде; на разработку вопросов Единой высоковольтной сети, производившуюся с 1931 г. в Госплане Советского Союза и в ряде проектных и исследовательских организаций; на проект линии 400 кв Урало-Кузнецкого комбината, разработанный в 1932—1933 г. Теплоэлектропроектом и Ленинградским электрофизическим институтом. Одновременно научно-исследовательские институты и промышленность вели интенсивную работу по разработке трансформаторов и аппаратуры 400 кв.

С 1938 г. Теплоэлектропроект совместно с рядом научно-исследовательских институтов (ВЭИ, МЭИ, ЛПИ и др.) приступил к проектным работам по сети 400 кв Куйбышевского гидроузла. Было выполнено проектное задание этой сети и разработано оборудование для нее. Эти работы были прерваны войной. После победоносного окончания Великой Отечественной войны были возобновлены исследовательские, проектные и конструкторские работы по освоению напряжения 400 кв.

К настоящему времени Теплоэлектропроект выполнен проект электропередачи 400 кв Куйбышевская гЭС—Москва. Масштабы этой передачи в несколько раз превосходят передачу, запроектированную в Швеции, а технические, экономические показатели значительно выше шведского проекта.

Приложение. Предварительные технические характеристики шведской системы 380 кв (по проектным данным).

Линия 380 кв Гарспренгет-Гальсберг

Длина	954 км
В том числе:	
участок Гарспренгет-Мидског	476 км
Мидског-Гальсберг	478 "
Промежуточная опора:	
Тип	портальный с горизонтальным расположением проводов
Вес опоры	7,1 т
Пролет средний	330 м
наибольший	555 м
наименьший	145 м
Высота опоры	26,8 м
Высота траверзы	22,8 м
Длина траверзы	24,0 м
Стрела провеса при 50° С для пролета 330 м	10,2 м
Напряжение в проводах при 0° С	6 кг/мм ²
Число проводов на фазу	2
Расстояние между расщепленными проводами фазы	45 см
Наибольшее расстояние между дистанционными распорками	130 м
Расстояние между фазами	12 м
Провод—сталеалюминиевый:	
диаметром	31,7 мм
сечением	2×592 мм ²
вес	1,975 кг/м
Эквивалентное сечение медного провода	2×329 мм ²
Число тросов	2
Сечение тросов	70 мм ²

Поддерживающая одиночная гирлянда изоляторов

Материал изолятора	Высота, мм	Диаметр, мм	Стержень, мм	Число в гирлянде	Рабочая нагрузка, кг	Разрывное расстояние, мм	Упругая прочность, кг
Фарфор . .	170	280	16	20	4 000	2 920	1 580
Фарфор . .	146	254	16	23	4 000	3 010	1 620
Стекло	158	280	16	22	5 500	2 880	1 560

Натяжная гирлянда изоляторов: число изоляторов 25, материал — стекло.

Число параллельных цепей изоляторов в гирлянде Разрядное расстояние между рогами — 3 450 мм.

Транспозиция проводов. Число циклов транспозиции на участке Гарспренгет—Мидског — 6, на участке Мидског—Гальсберг — 2.

Активное сопротивление проводов при 15° (при номинальном токе), 0,0275 ом/км.

Реактивное сопротивление 0,333 ом/км, емкостное 0,011 мкф/км.

Зарядная мощность линии при 380 кв 500 квар/км

Сопротивление нулевой последовательности активной 0,42 ом/км, реактивное 1,29 ом/км.

Потери мощности в проводах: на участке Гарспренгет—Мидског при нагрузке 300 тыс. квт — 7 600 квт, на участке Мидског—Гальсберг при нагрузке 400 тыс. квт — 13 600 квт.

Потери на корону при напряжении 380 кв на участке Гарспренгет—Гальсберг: среднее 2 000 квт, наибольшее 5 000 квт.

Линия Стоффинфорсен—Килфорсен—Энхёппинг. Д. 470 км. Опоры порталные, подобные первой при 380 кв, но наклонные стойки для тросов отсутствуют. Тросы укреплены на продолжении стоек. Остальные характеристики линии совпадают с данными, описанными выше.

Гидростанция Гарспренгет

Мощность общая	290 тыс. квт
Число агрегатов	3

Главные гидрогенераторы

Номинальная мощность агрегата	105 тыс. квт
Номинальное напряжение	16 кв
Коэффициент мощности	0,9
Число полюсов	36
Число оборотов нормальное	167 об/мин
Продольная синхронная реактивность	65%
сверхпереходная реактивность	15%
Продольная переходная реактивность	22%
Момент инерции $\left(\frac{GD^2}{4}\right)$	5 340 т·м ²

Возбуждение при 105 тыс. квт 16 кв и $\cos \varphi = 0,85$

Ток	1 200 а
Напряжение	325 в
Диаметр ротора	8,339 м
статора	10,4 "
Вес без возбuditеля	778 т
Вес возбuditеля	18,5 "

Охлаждение — вентиляция в замкнутой цепи, охлаждающей циркулирующей водой

Генераторы собственных нужд

Число	3
Номинальная мощность	1 200 квт

Главные трансформаторы

Число	3+1 резерв
Тип	однофазные

Охлаждение циркулирующим маслом под давлением

Номинальная мощность	3×115 мвт
Номинальное напряжение	16 $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$ кв
Схема соединения	Δ/Y_0
Отношение короткого замыкания	10,2%
Вес без масла	151 т
Вес масла	40 "
Размеры (длина, ширина, высота)	9,3×3,4×9 м
Уровни изоляции:	
Первичная обмотка	125 кв
Вторичная обмотка	1 775 кв
Изоляция нейтрали	275 кв

Регулировочные трансформаторы

Кисло	3+1 резервный
И	однофазные
Соединение	циркулирующим мас- лом под давлением
Номинальная мощность	3×9,3 тыс. <i>кВа</i>
Номинальное напряжение	$16/\pm \frac{30}{\sqrt{3}}$ <i>кВ</i>
Схема соединений	Δ/Y_0
Соотношение короткого замыкания	7,7%
Вес без масла	19,3 <i>т</i>
Вес масла	7,9 "
Измеры	4,1×2,3×5,2 <i>м</i>
Уровни изоляции	
Первичная обмотка	125 <i>кВ</i>
Вторичная обмотка	275 "

Трансформаторы 16/150 *кВ*

Кисло	2
И	трехфазные
Соединение	циркулирующим мас- лом под давлением
Номинальная мощность	60 тыс. <i>кВа</i>
Номинальное напряжение	16/150 <i>кВ</i> +6×2,5%
Схема соединений	Δ/Y_0
Вес без масла	83 <i>т</i>
Вес масла	23 "

Шунтирующие реакторы

Кисло	3
И	трехфазный
Соединение	циркулирующим мас- лом под давле- нием
Номинальная мощность	40 тыс. <i>кВа</i>
Номинальное напряжение	16 <i>кВ</i>

Вес без масла	27 <i>т</i>
Вес масла	4,1 <i>т</i>
Схема соединений	звезда
Кабели 380 <i>кВ</i>	однофазные, заполненные маслом под давлением
	Тип 1 Тип 2
Число	2 2
Средняя длина	110 <i>м</i> 110 <i>м</i>
Сечение	500 <i>мм²</i> 600 <i>мм²</i>
Максимальное давление масла	12 <i>кг/см²</i> 23 <i>кг/см²</i>
Минимальное давление масла	5 14
Толщина изоляции	27 <i>мм</i> 25 <i>мм</i>
Диаметр канала для масла в центре токопроводящей жилы	15 <i>мм</i> 19 <i>мм</i>

Гидростанция Сторфинборсен

Мощность общая	120 тыс. <i>кВт</i>
Число агрегатов	3
Напряжение генераторов	18 <i>кВ</i>
Мощность трансформаторов	3×43,3 тыс. <i>кВа</i>
Тип трансформаторов	однофазные, напряжение 18/380 <i>кВ</i>

Более подробные данные по этой гидростанции отсутствуют.

Гидростанция Килфорсен

Мощность общая	240 тыс. <i>кВт</i>
Число агрегатов	3
Мощность генератора	95 тыс. <i>кВт</i>
Номинальное напряжение	16 <i>кВ</i>
Коэффициент мощности	1,0
трансформации транс- форматоров	16/390 <i>кВ</i>

Регулировочные трансформаторы и резервная фаза не предусмотрены.

Более подробные данные по этой гидростанции отсутствуют.

Подстанции

Оборудование	Мидског	Гальсберг	Экспинг
Главные трансформаторы	3+1 резервный	6	Мощность под- станции 600 тыс. <i>кВа</i> (2 группы одно- фазных трансфор- маторов 3× ×100 тыс. <i>кВа</i> , на- пряжение 380/220 <i>кВ</i> . Подробных данных по этой подстанции нет, имеется указание, что она подобна подстанции Гальс- берг)
И	Однофазные		
Соединение	Циркуляция масла под давлением		
Номинальная мощность группы	3×110/110/15 тыс. <i>кВа</i>	3×100/100/67 тыс. <i>кВа</i>	
Номинальное напряжение	$\frac{408}{\sqrt{3}}/\frac{258}{\sqrt{3}}/36,5$ <i>кВ</i>	$\frac{385}{\sqrt{3}}/\frac{226}{\sqrt{3}}/21,5$ <i>кВ</i>	
Схема соединений	$Y_0/Y_0/\Delta$	$Y_0/Y_0/\Delta$	
Соотношение короткого замыкания	$\frac{408}{\sqrt{3}}/\frac{258}{\sqrt{3}}/3\times 110$ тыс. <i>кВа</i> 13,6%	$\frac{385}{\sqrt{3}}/\frac{226}{\sqrt{3}}/3\times 100$ тыс. <i>кВа</i> 12%	
Вес	$\frac{403}{\sqrt{3}}/36,5; 3\times 75$ тыс. <i>кВа</i> 15%	$\frac{385}{\sqrt{3}}/21,5; 3\times 67$ тыс. <i>кВа</i> 13,5%	
Вес	$\frac{258}{\sqrt{3}}/36,5; 3\times 75$ тыс. <i>кВа</i> 5,8%	$\frac{226}{\sqrt{3}}/21,5; 3\times 67$ тыс. <i>кВа</i> 5%	
Вес без масла	180 <i>т</i>	186 <i>т</i>	
Вес масла	50	52	
Измеры	9,275×4,350×9,700 <i>м</i>	10×5,5×9,83 <i>м</i>	
Уровни изоляции	1 775—375/1 025/175 <i>кВ</i>	1 775—375/1 025/125 <i>кВ</i>	
Регулировочные трансформаторы	3+1 резервный	2	
И	Однофазные	Трехфазные	
Соединение	Циркуляция масла под давлением		
Номинальная мощность	3×15 тыс. <i>кВа</i>	39 тыс. <i>кВа</i>	
Номинальное напряжение	$32\pm \frac{55}{\sqrt{3}}$ <i>кВ</i>	20/± 50 <i>кВ</i>	
Схема соединений	Δ/Y_0	Δ/Y_0	
Соотношение короткого замыкания	9%	8%	

Оборудование	Мидског	Гальсберг	Эвксинг
Вес без масла	29 т	67 т	
Вес масла	14,4 т	27 т	
Размеры	4,835×3,025×6,360 м	1,275×4,700×6,270 м	
Уровни изоляции	175/375 кВ	125/385 кВ	
Трансформаторы для сдвига угла напряжения		Нет	
Число	3		
Тип	Однофазные		
Охлаждение	Циркуляция масла под давлением		
Номинальная мощность	3×16,7—8,35 тыс. кВа		
Номинальное напряжение	$\frac{32}{\sqrt{3}} / \frac{58}{\sqrt{3}} \pm \frac{29}{\sqrt{3}}$ кВ		
Соединение	Последовательно		
Вес без масла	38 т		
Вес масла	14,5 т		
Размеры	4,00×2,52×7,345 м		
Уровни изоляции	175/1 025 кВ		
Синхронный компенсатор	Нет		
Число		1	
Номинальная мощность		75 тыс. кВа	
Номинальное напряжение		19—21 кВ	
Число полюсов		8	
Число оборотов		750 об/мин	
Синхронная реактивность		130%	
Сверхпереходная реактивность		22%	
Ток возбуждения при 13 кВ		850 А	
Охлаждение		900 А	Водородное
Шунтирующие реакторы			
Число и тип	3 трехфазных	2 трехфазных	
Охлаждение	Циркуляция масла под давлением		
Номинальная мощность	60 тыс. кВа	60 тыс. кВа	
Номинальное напряжение	32 кВ	20 кВ	
Схема соединений	Звезда	Звезда	
Вес без масла	36 т	35 т	
Вес масла	6 т	5,7 т	

Выключатели 380 кВ

Тип—воздушные	380 кВ
Номинальный ток	1 000 А
Разрывная мощность при 350 кВ	8 000 тыс. кВа
Число последовательных разрывов на фазу	8
Время отключения	0,10 сек
Время включения	0,48
Вес	35 т
Номинальное давление воздуха	15 кг/см ²

Выключатель снабжен последовательным разъединителем и нелинейными сопротивлениями, шунтирующими дуговые промежутки при работе выключателя.

Разрядники

Наибольшее допустимое эффективное напряжение	400 кВ
Пробивное эффективное напряжение при рабочей частоте	800 кВ
Пробивное импульсное амплитудное напряжение при волне с фронтом 1 000 кВ/мксек	1 200 кВ

Остающееся напряжение	двойной	Тип	одинарный
При 8 кА, 6 кА/мксек	1 430 кВ _{макс}		1 620 кВ _{макс}
• 8 • 3	1 340		1 480
• 8 • 1	1 220		1 330
• 8 • 1	1 160		1 260

Трансформаторы тока

Число вторичных обмоток	3
Номинальное напряжение	380 кВт
Коэффициент трансформации	800—400—200/2/2/2 а
Номинальная мощность:	
Измерительная обмотка	30 ВА
Обмотка для релейной защиты	60
Обмотка для защиты от замыканий на землю полное сопротивление минимальное	100 Ом
Термическая устойчивость в течение	1 сек
Цепи 800/2	50 кВА
• 400/2	30
• 200/2	20
Уровень изоляции	1 775 кВ
Вес без масла	3 700 кг
Вес масла	375 кг

Трансформаторы тока, встроенные в выводы главных трансформаторов	
Число вторичных обмоток	3
Коэффициент трансформации	800/2/2 а
Обмотка I для релейной защиты:	
Ошибка при нагрузке 40 ВА cos φ = 0,5 и 1—12-кратном токе от I _{номин}	±3%
Обмотка II для защиты от замыканий на землю, для измерений	
Номинальная мощность	20 ВА

Консультации

В связи со статьей А. А. Тайца (Электричество, № 4, 1950) в редакцию обратился за консультацией читатель журнала В. В. Ногац, начальник электроцеха завода «Акрихин». Ниже помещаются запрос и ответ, составленный по поручению редакции А. А. Тайцом.

Вопросы. 1. Можно ли осуществить к электродвигателям 220/380 в индивидуальные установки для компенсации cos φ ; являются ли они рентабельными, какова стоимость одного киловольтампера статических конденсаторов?

2. Какой метод вычисления экономии электроэнергии можно принять при замене электродвигателей избыточной мощности на двигатели меньшей мощности?

3. При заземлении аппаратов, связанных с зануляемым электроприводом, возникает металлическое соединение между зануляемыми и заземляемыми частями электрооборудования с целью отвода в землю статических зарядов. Допустимо ли такое соединение?

Ответы. 1. Индивидуальная компенсация токоприемников при напряжении 220—500 в никаким затруднений не представляет. Однако она может быть целесообразной лишь для электродвигателей с длительным режимом работы, например для насосов, вентиляторов и т. п. Минимальная мощность выпускаемых статических конденсаторов при напряжении 380 в составляет 5 квар, а при напряжении 500 в — 3 квар, поэтому индивидуальная компенсация практически возможна только для электродвигателей мощностью 5—10 квт и выше.

Согласно директивному распоряжению Государственной инспекции по промэнергетике и экононадзору (№ 44—201 от 13/II 1950 г.), число часов работы токоприемников (электродвигателей, сварочных трансформаторов, электропечей и др.), к клеммам которых подключаются конденсаторы, должно составлять не менее 500 в месяц.

Установку статических конденсаторов при напряжении 220—500 в целесообразно применять в тех случаях, когда это дает существенные технико-экономические выгоды. В большинстве случаев установка конденсаторов в сети 380 в дает уменьшение годовых расходов и позволяет увеличить активную нагрузку подстанций и сетей 380 в без увеличения установленных мощностей трансформаторов и сечений линий.

Для выбора места установки статических конденсаторов (в цепи низкого или высокого напряжения) достаточно произвести расчет рентабельности, исходя только из потерь мощности. 1 квар конденсаторов, установленный на стороне 6 кв районной подстанции, уменьшает потери активной мощности в системе в среднем примерно на 50 вт; 1 квар конденсаторов, установленный на шинах 0,4 кв потребительских подстанций, уменьшает потери активной мощности в системе в среднем примерно на 170 вт; эффект по потерям активной энергии в среднем составляет 600 квтч/год квар.

Стоимость одного киловольтампера статических конденсаторов составляет при 380 в 106 руб., а при напряжении 500 в — 72 руб.

2. С целью экономии электроэнергии и улучшения коэффициента мощности широко распространена замена недогруженных электродвигателей двигателями меньшей мощности. Однако не всегда эти мероприятия достаточно эффективны.

Замена мелких двигателей большей частью нецелесообразна. Смена двигателей имеет смысл только при значительной разнице в мощностях старого и нового двигателей (например, при отношении 1:2).

При нагрузке двигателя, не выше 0,5 номинальной, целесообразно переключить двигатель с треугольника на звезду. Возможно также применение секционированных обмоток с выведенными двенадцатью концами обмоток статора, что позволяет получить четыре комбинации со-

единений с различным количеством витков на фазу, а следовательно, и с различным напряжением на входе.

Современные двигатели отличаются довольно высокими значениями к. п. д., которые сохраняются на большом диапазоне нагрузки двигателей. Резкое падение к. п. д. имеет место при нагрузках 15—20% от номинальной. Минимальный к. п. д. большинства станков составляет 0,85 при полной нагрузке и сильно падает при частичной нагрузке. Поэтому резкое влияние на удельный расход энергии оказывает недогрузка станка.

Вопрос о замене двигателей на меньшую мощность следует ставить после предварительного рассмотрения возможности увеличения загрузки и более рационального использования станка. Такие мероприятия должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами.

Замена работающего электродвигателя целесообразна, если эта замена не связана с увеличением потребления активной мощности в самом двигателе, или если увеличение потерь в самом двигателе меньше, чем экономия в потерях в сети благодаря улучшению коэффициента мощности.

Условие эффективности замены может быть выражено следующим образом:

$$K\Delta Q > \Delta P,$$

где K — экономический эквивалент реактивной мощности квт/квар;

ΔQ — уменьшение реактивной мощности у потребителя

благодаря замене двигателя $\left[\frac{P_{\partial}}{\eta_{\partial}} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \right]$

ΔP — увеличение потребления активной мощности у потребителя благодаря замене двигателя $\left(\frac{P_{\partial}}{\eta_{1\partial}} - \frac{P_{\partial}}{\eta_{2\partial}} \right)$.

В данном случае принимается значение к. п. д. заменяемого и $\eta_{2\partial}$ заменяющего двигателя, соответствующего нагрузке двигателя на валу (P_{∂}).

Таким образом, при выяснении эффективности замены незагруженного двигателя определяется разность реактивных мощностей ΔQ (до и после замены), разность активных мощностей ΔP , потребляемых двигателем до и после замены, и выбирается значение экономического эквивалента, зависящего от степени удаленности данной точки сети от питающей станции. Числовые значения экономического эквивалента приведены в решении № (18)/Э Технического отдела МЭС и Госэнергонадзора 4/II 1949 («Промэнергетика», № 5, 1949).

3. Для предотвращения в взрывоопасных помещениях искрения, могущего быть вызванным статическим электричеством, металлические сосуды, служащие для хранения легко воспламеняющихся горючих жидкостей, аппараты, содержащие эти жидкости, трубопроводы для подачи и т. д. должны быть заземлены.

В соответствии с правилами устройства (раз «Электрооборудование взрывоопасных помещений») допускается применение в одной и той же сети зануления для одних предметов электрооборудования и заземления для других. В приведенном выше случае заземление рекомендуется для технологических аппаратов, а зануление для электродвигателей, что является допустимым.



Всесоюзное совещание по обсуждению „Правил устройства электротехнических установок“

Всесоюзное научное инженерно-техническое общество электротехников провело в Москве с 6 по 11 декабря 1950 г. Всесоюзное совещание по обсуждению первого выпуска Правил устройства электротехнических установок, разработанных Техническим управлением Министерства электротехники СССР, Главэлектромонтажем Министерства строительства предприятий тяжелой индустрии СССР и Государственной инспекцией по промэнергетике и энергонадзору Министерства электростанций СССР совместно с заинтересованными ведомствами.

В совещании участвовало более 400 человек, из них 14 делегатов, прибывших из 78 промышленных центров городов Советского Союза.

Предварительное обсуждение Правил началось еще в мае 1948 г., когда передовой статьей в № 10 журнала «Электричество» была открыта дискуссия по первому выпуску Правил (23 выпуска), а ВНИТОЭ совместно с Государственной инспекцией по промэнергетике и энергонадзору МЭС организовали широкое обсуждение Правил на местах через делегатов ВНИТОЭ и энергосбыты. К обсуждению Правил были привлечены энергосистемы и энергосбыты, проморганизации, проектные и монтажные организации.

Совещание открыл председатель Оргкомитета инж. С. Ясевич, который отметил роль Правил в деле внедрения передовой техники и технического прогресса и обозначил цели и задачи совещания.

Первым был зачитан доклад члена-корр. АН СССР, члена-корр. М. А. Шателена «Исторический обзор развития электротехнических Правил в СССР». В докладе был охарактеризован первый этап развития электротехники в России, свидетелем которого был автор доклада. Создание первых осветительных установок вызвало необходимость составления Правил по сооружению указанных установок. В дальнейшем Правила устройства электротехнических установок обсуждались и утверждались Всероссийскими электротехническими съездами. В последний раз электротехнические Правила рассматривались в 1929 г. на IX электротехническом съезде (IX ВЭС).

Кандидат техн. наук И. А. Сыромятников (Техническое управление МЭС) доложил о проведенной МЭС работе по «Разработке правил устройства электротехнических установок». В 1938 — 1940 гг. Главэнерго НКТП были изданы проекты нескольких разделов Правил устройства электротехнических установок. Обсуждение их было прервано войной. 18 мая 1946 г. Государственный комитет обороны утвердил положение о Министерстве электростанций, подтвержденное постановлением Совета Министров Союза ССР от 15 августа 1950 г., согласно которому Министерству электростанций было предоставлено право разрабатывать и утверждать правила устройства электротехнических установок, обязательные для всех министерств и ведомств. К настоящему совещанию были разработаны два выпуска правил устройства, включающие 33 раздела. Межведомственная комиссия по Правилам тщательно изучает все материалы, полученные при обсуждении Правил, а также материалы настоящего совещания. Ответственно в Правилах будут сделаны необходимые изменения.

Инж. В. С. Ясевич (Секция правил и норм ВНИТОЭ) доложил об «Итогах работы, проведенной Оргкомитетом по рассмотрению и обсуждению правил устройства электротехнических установок». Оргкомитет, начав свою работу в мае 1948 г., привлек к рассмотрению Правил инженеров, мастеров, стахановцев и передовиков производства. Оргкомитет организовал в Москве и Ленинграде для обсуждения Правил систематизацию полученных замечаний (свыше 2 200) в отдельных специализированных секциях. Вопросы, при-

знанные принципиальными, переданы на обсуждение Всесоюзного совещания с пояснительным текстом в виде брошюры, которая была роздана делегатам совещания. Кроме того секции составили свои рекомендации по Правилам в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 25 мая 1950 г. о снижении стоимости строительства. В целом секции дали положительную оценку новым Правилам и предложили одобрить их.

На совещании сделали доклады председатели секций ВНИТОЭ по отдельным разделам Правил устройства: инж. М. К. Харчев «Указания по проектированию электрических систем. Электрооборудование промышленных предприятий»; проф. П. Г. Грудинский «Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 000 в»; инж. А. А. Ермилов «Распределительные устройства напряжением до 1 000 в. Аккумуляторные батареи. Статические конденсаторы. Проводки цепей управления и измерения»; кандидат техн. наук Г. М. Кнорринг «Осветительные установки. Штепсельные соединения, выключатели и ламповые патроны»; инж. Д. Б. Мондрус «Электропечные установки»; инж. П. Ф. Соловьев «Проводки»; инж. М. М. Зархин «Кабельные линии напряжением до 35 кВ»; инж. О. Г. Вексельман «Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 000 в»; доктор техн. наук И. А. Будзко «Сельские электроустановки»; инж. Я. М. Большаков «Электромашины. Электродвигатели. Электрооборудование пожаро- и взрывоопасных помещений»; кандидат техн. наук Л. П. Подольский «Заземления и зануления в электрических установках напряжением до 1 000 в». Председатели секций осветили основные положения, принятые при составлении новых Правил, и их отличительные особенности по сравнению со старыми правилами, дали анализ полученных замечаний по правилам и сообщили о предложениях секций по замечаниям и по оценке Правил в целом.

В оживленных прениях выступили 77 делегатов. Материалы, представленные секциями ВНИТОЭ, с учетом выступлений делегатов, были проработаны в избранных совещательных комиссиях. Предложения комиссий были затем дополнительно обсуждены и приняты совещанием.

В заключительной части совещания была сделана информация по остальным десяти разделам правил, вошедшим во второй сборник, выпущенный перед самым совещанием.

Совещание приняло решение — одобрить первый сборник Правил устройства электротехнических установок издания 1950 г. с учетом изменений и дополнений, принятых на Совещании. Совещание признало необходимым просить Техническое управление МЭС, Главэлектромонтаж Министерства строительства предприятий тяжелой индустрии и Государственную инспекцию по промэнергетике и энергонадзору МЭС в кратчайший срок утвердить рекомендации Совещания, которые являются наиболее существенными с точки зрения требования удешевления и улучшения устройства электроустановок. В решениях отмечена успешная работа Технического управления МЭС, Главэлектромонтажа Министерства строительства предприятий тяжелой индустрии и Государственной инспекции по промэнергетике и энергонадзору МЭС по созданию Правил устройства электротехнических установок.

Совещание сочло целесообразным продолжить работы ВНИТОЭ по общественному просмотру правил с целью дальнейшего усовершенствования их в соответствии с достижениями новейшей техники.

Инж. А. Л. ФАЕРМАН



Научно-техническая сессия по релейной защите

В октябре 1950 г. в г. Чебоксары была проведена научно-техническая сессия по релейной защите, организованная Министерством электропромышленности СССР и Горьковским отделением ВНИТОЭ. На сессии присутствовало 120 делегатов от энергосистем, научно-исследовательских и проектных организаций, высших учебных заведений, заводов МЭП, а также от технических управлений Министерства электростанций и Министерства электропромышленности СССР.

Сессию открыл директор завода МЭП А. И. Якунин. С приветствием от имени Чувашского областного комитета ВКП(б) выступил секретарь обкома ВКП(б) Н. Н. Никитин, выразивший уверенность в том, что сессия поможет заводам улучшить качество выпускаемой релейной аппаратуры и подготовиться к решению важных задач по релестроению в связи с развертыванием строительства новых гигантских электростанций.

Инж. А. В. Буйолов (завод МЭП) выступил с докладом, в котором указал, что за последние годы значительно расширена номенклатура выпускаемых советской электропромышленностью реле и что благодаря творческому содружеству заводов с лабораториями ТЭП и ЦНИЭЛ МЭО созданы устройства релейной защиты, качество которых выше аналогов устройств иностранных фирм.

Инж. М. Б. Цфасман (завод МЭП) в своем докладе также отметил улучшение качества релейной аппаратуры и подчеркнул, что дальнейшему улучшению релейной аппаратуры наряду с другими мероприятиями в значительной мере поможет усиление связи между заводом и эксплуатационными организациями.

Инж. Е. Д. Зейлидзон (Техуправление МЭС) выступил с докладом «Опыт эксплуатации реле и требования энергетических предприятий к электропромышленности в области релестроения». С докладчиками по этим вопросам выступили: инж. Н. В. Чернобровов (Мосэнерго), инж. В. С. Бенин (Ленэнерго), инж. А. А. Воскресенский (Горэнерго) и инж. М. М. Феермарк (Главлэктромонтаж). Было показано, что процент правильной работы релейной защиты растет из года в год. Имеющиеся еще случаи неправильной работы релейной защиты, по вине завода, могут быть изжиты в кратчайший срок. Ряд конкретных предложений в этом направлении был внесен выступавшими в прениях: инж. Ф. Ф. Дерюгиным (Челябэнерго), инж. Е. С. Габа (Донбассэнерго), инж. Д. Т. Сергеевым (Мосэнерго), инж. С. Е. Кашпровским (Киевэнерго), инж. О. А. Гильчером (ЦЛЭМ Мосэнерго), инж. В. М. Ермоленко (ТЭП), проф. И. И. Соловьевым (ЦНИЭЛ) и инж. А. Т. Дауровой (ВВС Мосэнерго). Выступавшие в прениях предъявили Министерству электропромышленности серьезные требования об оказании предприятиям релестроения помощи оборудованием и кадрами.

Новым отечественным разработкам в области релейной защиты было посвящено шесть докладов. Кандидат техн. наук М. И. Царев (ЦНИЭЛ) выступил с докладом «Новые работы в области дифференциальной защиты генераторов и трансформаторов». Основными причинами неправильной работы этой защиты являются переходные процессы в трансформаторах тока и броски токов намагничивания силовых трансформаторов при восстановлении напряжения после отключения внешнего короткого замыкания. В итоге теоретических и экспериментальных исследований в ЦНИЭЛ МЭС разработана простая по исполнению дифференциальная защита для трансформаторов, генераторов и шин высоковольтных подстанций с использованием промежуточных быстродействующих трансформаторов тока (БНТ). В релейных лабораториях ТЭП и ЦЛЭМ Мосэнерго разработаны реле для дифзащиты двухобмоточных трансформаторов, где наряду с БНТ введены тормозные катушки, что позволяет получить дифзащиту высокой чувствительности. Инж. Г. Т. Грек (ТЭП) сообщил о работах по выбору оптимальных параметров БНТ; инж. О. А. Гильчер (ЦЛЭМ Мосэнерго) — о реле с БНТ для чувствительной дифзащиты двухобмоточных трансформаторов, изготавливаемых в Мосэнерго.

Проф. И. И. Соловьев (ЦНИЭЛ) выступил с докладом «Автоматическое повторное включе-

ние», в котором показал, что автоматическое повторное включение линий электропередачи является эффективным мероприятием повышения надежности энергоснабжения. Каждый комплект АПВ предотвращает в среднем до одной аварии в год. На выключателях с дистанционным включением должны применяться АПВ с автоматическим вводом в положение готовности к следующему циклу работы. На выключателях, не имеющих дистанционного управления, должны применяться механические АПВ. Министерство электропромышленности должно организовать массовый выпуск механических АПВ. Дана техническая характеристика электрического АПВ, разработанная в ЦНИЭЛ и принятого к изготовлению электропромышленностью. Показана высокая эффективность применения в энергосистемах пофазного автоматического повторного включения. Инж. П. К. Фейст (ЦНИЭЛ) выступил с сообщением о разработанном избирательном органе для фазного АПВ с компенсированными реле минимального полного сопротивления.

Кандидат техн. наук А. М. Бреслер (завод МЭП) выступил с докладом «Дистанционная защита линий электропередачи», в котором сообщил о разработанных освоенных типах дистанционной защиты: «защита ПЗ-1» для линий с малыми токами замыкания на землю и «защита ПЗ-155» для линий с большими токами замыкания на землю. Закончена разработка схемы дистанционной защиты от однофазных коротких замыканий для сетей с глухозаземленной нейтралью.

В сообщении доктора техн. наук, проф. Г. И. Анкова (ЦНИЭЛ) для линий средней протяженности предложена дистанционная защита от междофазовых коротких замыканий в четырехрелейном исполнении и от повреждений на землю — в односистемном исполнении. Такая защита пригодна как для сетей с трехфазным отключением, так и для сетей с пофазным отключением. Инж. положительный опыт эксплуатации предлагаемой защиты в Грузэнерго.

Инж. А. Д. Шлейфман (ЦЛЭМ Мосэнерго) выступил с сообщением о разработанных в Мосэнерго двух типах дистанционных реле для длинных и сильно нагруженных линий.

Инж. Е. Д. Зейлидзон (Техуправление МЭС) в своем докладе — «Защита от замыканий на землю генераторов» показал, что создание искусственного активного тока замыкания на землю для выполнения защиты снижало надежность работы сетей генераторов напряжения. Новые отечественные аппараты защиты замыканий на землю позволяют выполнять защиту на больших токах замыкания на землю и компенсировать большие емкостные токи сети. Техуправлением МЭС принято решение отказаться от действия на отключение защиты от замыкания на землю в сетях генераторного напряжения на генераторах с малым емкостным током замыкания на землю.

Кандидат техн. наук И. Н. Попов (ЦНИЭЛ) сообщил о разработанном для чувствительной защиты от замыканий на землю токовом реле с магнитным усилителем также о кабельных трансформаторах тока на перемычках.

Кандидат техн. наук Я. М. Смородинский (ТЭП) выступил с докладом «Высокочастотная защита линий электропередачи», в котором сообщил о новейших простых и надежных высокочастотных защитах, разработанных в СССР и основанных на использовании симметричных составляющих тока и напряжения. Инж. Е. Д. Сапир (ЦНИЭЛ) и инж. О. А. Гильчер (ЦЛЭМ Мосэнерго) выступили с сообщениями о результатах эксплуатации разработанной в ЦНИЭЛ высокочастотной дифференциально-фазной защиты. Кандидат техн. наук И. Н. Попов доложил о работах ЦНИЭЛ по безынерционной направленной высокочастотной защите обратной последовательности.

Инж. А. С. Тулин (завод МЭП) выступил с докладом «Новые конструкции реле», сообщил, в частности, о дифференциальной защите трехобмоточных трансформаторов с использованием промежуточных быстродействующих трансформаторов тока на трехстержневом сердечнике.

В прениях по докладам о новых отечественных разработках в области релейной защиты выступили: инж. А. Б. [неизвестно] (Главцентрэнерго), инж. А. М. Ярославцев (Ленэнерго), кандидат техн. наук А. М. Бреслер (защитил МЭП), инж. А. А. Воскресенский (Горэнерго), инж. А. Гасенко (ТЭП), инж. Е. В. Варламов (Ленэнерго), к. м. М. Богина (ЦИНЭЛ), инж. М. С. Прокунин (Техуправление МЭП) и инж. Н. В. Чернобровов (Мосэнерго). Кандидат техн. наук И. А. Сыромятников (Техуправление МЭС) остановился на ряде важнейших для эксплуатации вопросов релейной защиты и системной автоматики, показал, что на всех генераторах необходимо ввести автоматическую форсировку возбуждения и что все изолированные линии должны быть оборудованы АПВ. Необходимо шире внедрять автоматический ввод резерва на соб-

ственном расходе электростанций и в высоковольтных сетях, шире внедрять защиту на оперативном переменном токе. Развертывание строительства гигантских гидроэлектростанций требует большой совместной работы научно-исследовательских, проектирующих, эксплуатирующих организаций и заводов Министерства электропромышленности.

В принятых сессией резолюциях намечены пути для дальнейшего улучшения качества релейной аппаратуры, даны рекомендации по расширению номенклатуры производства реле и комплектных устройств защиты.

С большим подъемом участники сессии обратились с приветствием к великому вождю народов товарищу И. В. Сталину.

Инж. Е. Д. САПИР



Московский энергетический институт им. Молотова (Диссертации)

В Московском ордена Ленина энергетическом институте им. Молотова за период с октября 1948 г. по июнь 1949 г. защищены следующие диссертации на соискание степени кандидата технических наук.

Е. Л. Львов защитил 15 октября 1948 г. диссертацию на тему «Общая теория расчета статических характеристик электромагнитов и ее применение к броневым и соленоидным электромагнитам с плоским стопом». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. К. М. Поликов и канд. техн. наук, доц. Б. С. Сотсков.

Дан анализ существующих методов расчета и разработан новый метод, позволяющий с практически достаточной степенью точности вычислять поток под торцом сердечника и определять тяговую силу по формуле Максвелла. Проведено подробное экспериментальное исследование.

Л. С. Лурье защитил 15 октября 1948 г. диссертацию на тему «Кажущаяся мощность несимметричной и несинусоидальной трехфазной системы». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. А. Городский и канд. техн. наук, доц. А. Князевский.

Устанавливается необходимость использования кажущейся мощности в качестве характеристики фактической нагрузки по току и напряжению несимметричной трехфазной системы. Введено новое определение мощности искажения трехфазной цепи. Понятие мощности несимметрии обосновывается на случай несинусоидальных токов.

Е. И. Бозовская защитила 15 октября 1948 г. диссертацию на тему «Стробоскопический эффект в светителных установках». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд и доктор техн. наук, проф. С. О. Майзель.

Исследован стробоскопический эффект при освещении движущихся объектов электрическими источниками света, питаемыми переменным током. Детально проанализированы различные схемы включения люминесцентных ламп, с помощью которых достигается снижение глубины колебания суммарной освещенности. Установлены закономерности изменения глубины колебания суммарной освещенности при варьировании схем включения ламп. Показано практическое применение полученных данных при разрыве однолампных светильников. Даны практические рекомендации при решении вопросов нормирования, проектирования и оценки осветительных установок с применением движущихся источников света.

Д. В. Виноградов защитил 29 октября 1948 г. диссертацию на тему «Расчет узкополосных кварцевых фильтров». Официальные оппоненты: проф. А. Левин и канд. техн. наук Е. С. Штырен.

Приведено решение задачи о расчете четырехкварцевого мостового полосового фильтра без потерь в элементах, с наименьшей величиной максимального затухания в полосе пропускания, с заданной относительной шириной скатов и при заданной величине минимального затухания в полосе задержания. Предложен способ расчета фильтра с одним разнесением частот и расчет фильтра с тремя разнесениями, при котором задается относительная величина скатов характеристики и, кроме того, или величина максимального затухания фильтра в полосе пропускания, или величина минимального затухания в полосе задержания.

И. И. Шумский защитил 10 декабря 1948 г. диссертацию на тему «Увлажнение лакотканей и методика определения их диэлектрических свойств». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин и доктор техн. наук, проф. Б. М. Тареев.

Установлены параметры величины влажности окружающей среды и оптимальное время увлажнения, которые гарантируют точности электрических показаний при испытаниях. Определена функциональная зависимость между величиной увлажнения и проводимостью лакотканей. Испытанием лакотканей на удельное объемное сопротивление, угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости определены наименьшие значения этих величин при использовании лакотканей в промышленности.

Е. Н. Коноплева защитила 29 декабря 1948 г. диссертацию на тему «Нарушение работы линий радиосвязи во время ионосферных возмущений и связь их с процессами на солнце». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Л. А. Жекулин и канд. техн. наук Н. Я. Богуславская.

С помощью математических выводов определены величины колебаний значений критических частот слоя в условиях нормального и возмущенного состояния ионосферы. Проанализированы ионосферные данные за ряд лет и отмечены особенности протекания ионосферных возмущений по часам суток, времени года и по годам солнечного цикла. Показано, что ионосферные возмущения имеют место при определенных процессах, наблюдаемых на солнце. Намечена методика прогнозирования ионосферных возмущений по процессам, наблюдаемым на солнце. Основными моментами этой методики является применение разработанной автором карты сопоставлений явлений на солнце с ионосферными возмущениями и учет состояния и поведения видимых образований на солнце.

А. Г. Сливинская защитила 7 января 1949 г. диссертацию на тему «Исследование магнитных проводимостей воздушных промежутков, имеющих осевую симметрию». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Н. Ларионов и канд. техн. наук Н. Е. Лысов.

¹ Диссертации за предшествующий период см. Электричество, 7, 1946; № 4, 1947; № 3 и 11, 1948.

Рассмотрен актуальный для расчета и конструирования электрических аппаратов вопрос об определении магнитных проводимостей аксиально-симметричных воздушных зазоров. Установлены математические зависимости, выражающие магнитную проводимость наиболее распространенных форм воздушных зазоров. В качестве общего метода исследования аксиально-симметричных полей предложен детально разработанный графический метод построения картин поля. Пользуясь полученными результатами, возможно точнее, чем прежде, решать задачи, связанные с определением электромеханических характеристик и выбором параметров различных электрических аппаратов.

А. Д. Свенчанский защитил 4 февраля 1949 г. диссертацию на тему «Электрические промышленные печи». Официальные оппоненты: доктор хим. наук, проф. Н. Н. Курнаков, проф. Л. Аронов и инж. А. С. Луцкер.

Дана составленная автором классификация электрических печей по принципу выделения тепла и охарактеризованы области применения электрических печей. Изложены основные принципы передачи тепла в печах теплопроводностью, включая некоторые нестационарные случаи. Разработаны огнеупорные материалы, легковесы, теплоизоляционные материалы, жароупоры и материалы для нагревательных элементов. Сделаны указания по выбору специальной атмосферы при светлом отжиге и рекомендации по конструированию узлов и деталей печей; изложен метод технико-экономического выбора типа и количества печей; автором предложена методика выбора удельной поверхностной мощности нагревателей и изложен ход расчета. Дана классификация дуговых печей, предложенная автором; разработана теория устойчивости дуги.

П. А. Кремлевский защитил 4 февраля 1949 г. диссертацию на тему «Разработка метода испытания на антикоррозионную устойчивость электроизоляционных лаков». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Б. М. Тареев и канд. техн. наук Н. Н. Соколов.

Сущность метода состоит в воздействии на лаковую пленку химических реагентов в момент их выделения в процессе электролиза. Видоизменяя химическую природу воздействующих веществ, можно выснить надежность защиты, доставляемой лаковой пленкой в тех или иных средах. Автором разработана установка для испытания одновременно различных лаков при одинаковых условиях.

Н. Т. Кобякова защитила 18 февраля 1949 г. диссертацию на тему «Дифференциальная защита трансформаторов, не работающая при бросках тока намагничивания». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. И. Атабеков и канд. техн. наук В. Л. Козис. Рассмотрены явления, происходящие при включении силовых трансформаторов, и проанализировано влияние различных факторов на характер и величину броска токов намагничивания. С учетом полученных данных рассмотрены применяемые схемы дифференциальных защит и дана их оценка. Даны рекомендации по выбору и разработке схемы дифференциальной защиты трансформаторов, не работающей при бросках тока намагничивания. Для рекомендуемой схемы защиты с промежуточными насыщающимися трансформаторами тока был произведен анализ влияния различных факторов на эффективность работы насыщающихся трансформаторов тока. Разработана схема дифференциальной защиты, удовлетворяющая предъявляемым к ней требованиям.

В. П. Сасоров защитил 18 февраля 1949 г. диссертацию на тему «Ртутные лампы сверхвысокого давления». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. П. Иванов и доктор физ.-матем. наук, проф. В. А. Фабрикант.

Рассмотрены свойства конструкции и технология изготовления ртутных кварцевых ламп сверхвысокого давления шарового типа. Изложены причины низкой экономичности ламп накаливания, некоторые свойства холодного излучения газа при электрическом разряде и свойства разряда в парах ртути при сверхвысоком давлении. Предложен приближенный расчет ламп, светотехнические и электрические свойства их и возможности улучшения спектра.

Г. Д. Михайлов защитил 18 февраля 1949 г. диссертацию на тему «Теория контакта химических однородных полупроводников». Официальные оппоненты: член-корр. Академии наук СССР, Я. И. Френкель и канд. техн. наук Д. М. Чешов.

Анализируется проводимость контакта с точки зрения двух возможных механизмов проводимости — электронной и туннельной. Дано предпочтение термической проводимости контактного зазора. Рассматривается статическая и динамическая проводимость углеродного порошка. Выведена формула микрофонного эффекта, основанная на которой даны практические советы.

С. Г. Блантер защитил 19 марта 1949 г. диссертацию на тему «Электрическое оборудование вых подстанций». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд и канд. техн. наук, доц. Е. В. Чеботарев.

Разобраны методы расчетов и критерии для выбора электрического оборудования тяговых подстанций трамвая и троллейбуса. Изложены принципы построения схем питания подстанции, дан анализ схем. Рассмотрены требования к конструкциям элементов подстанций, предложены конструктивные решения и даны соответствующие рекомендации. Дано сравнение неавтоматических автоматических телеуправляемых подстанций. Разработаны основные положения принципиально новых типов одно- и двухагрегатных автоматических тяговых подстанций для децентрализованного питания тяговых сетей. Рассмотрены важнейшие вопросы технической эксплуатации тяговых подстанций.

М. И. Царев защитил 8 апреля 1949 г. диссертацию на тему «Анализ работы дифференциальной защиты трансформаторов в переходных режимах и разработка способов ее усовершенствования». Официальные оппоненты: доктор техн. наук А. М. Федосеев и канд. техн. наук И. А. Сымятников.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование переходных процессов в токовых цепях дифференциальной защиты трансформаторов при внешних коротких замыканиях, а также при бросках намагничивающего тока. Дан анализ работы различных типов дифференциальной защиты трансформаторов в переходных режимах и выявлены лучшие из известных способов ее отстройки от токов небаланса, вызываемых ошибками трансформаторов тока и бросками тока намагничивания. Разработаны конкретные способы усовершенствования дифференциальной защиты трансформаторов.

Е. С. Фрид защитил 27 мая 1949 г. диссертацию на тему «Расчет импульсных градиентов в мотках трансформаторов». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. А. Карасев и канд. техн. наук, доц. М. В. Липковский.

Разработан метод для определения градиентов в магнитопроводе трансформаторной обмотке, подвергающейся действию импульсного напряжения. Метод дает наглядную картину процессов, определяющих импульсные градиенты в трансформаторах, и позволяет оценить влияние различных факторов, влияющих на градиенты.

А. М. Вайнберг защитил 10 июня 1949 г. диссертацию на тему «Исследование современных электромашиных систем автоматического регулирования дуговых сталеплавильных печей». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов и канд. техн. наук, доц. Э. Удерман.

Экспериментально исследованы образцы современных электромашиных регуляторов дуговых печей: регулятор с применением электромашиного усилителя ВЭИ (известного под названием «амплидин») на дуговой печи мощностью 100 кг лабораторный ЭТА МЭИ; регулятор на индукторной печи Невского судостроительного завода с применением усилителя под именем «Рототрол» и регулятор на трехтонной печи ГПЗ им. Кагановича с усилителем, известным под названием «Регулеск».

В. М. Горнштейн защитил 10 июня 1949 г. диссертацию на тему «Наивыгоднейшее распределение нагрузки между параллельно работающими электростанциями». Официальные оп-

д-р техн. наук И. М. Маркович и канд. техн. наук, доц. Н. А. Мельников.

Тема: общая теория метода относительных характеристик котлов и котельных; характеристика генераторов и турбоустановок; распределение нагрузки между электростанциями. Определена выгодность

остановки агрегатов на электростанциях. Произведен учет расхода энергии на собственные нужды электростанций. Выяснено распределение нагрузки между электростанциями при особых условиях работы энергосистем.

Определена конфигурация графика гидростанций, работающих параллельно с тепловыми станциями, и пр. А. П. Куваева защитила 10 июня 1949 г. диссертацию на тему «Исследование способов повышения перегрузочной способности асинхронных двигателей». Официальные оппоненты: д-р техн. наук, проф. С. Н. Розанов и канд. техн. наук, доц. И. И. Петров.

Рассмотрены следующие методы повышения магнитного потока двигателя: а) подведение к зажимам двигателя повышенного напряжения; б) включение последовательно с обмоткой статора конденсаторов; в) уменьшение числа витков обмотки статора; г) включение активной сопротивляемости последовательно с обмоткой статора в работе двигателя в генераторном режиме. Установлена методика расчета характеристик двигателя и влияния на них параметров форсировки. Выявлено влияние насыщения цепи главного магнитного потока на характеристики двигателя. Сопоставлены способы форсирования с точки зрения повышения пусковых и критических моментов, уменьшения времени и потерь при разбеге под нагрузкой и снижения мощности двигателя при кратковременном режиме работы.

В. М. Кузнецов защитил 10 июня 1949 г. диссертацию на тему «Исследование возможностей уменьшения эффективности антенны бегущей волны». Официальные оппоненты: член-корр. Академии наук СССР, проф. А. А. Пистолькорс и д-р техн. наук Г. Т. Марков.

Дан анализ антенны бегущей волны и разработан расчет антенны бегущей волны, отличающейся высоким коэффициентом. Проведено сравнение предложенного варианта антенны бегущей волны с высоким к. п. д. с ромбической антенной и с существующими антеннами бегущей волны.

И. С. Бессмертный защитил 24 июня 1949 г. диссертацию на тему «Метод исследования режима напряжения при расчетах городских электросетей». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов и канд. техн. наук, доц. А. Мельников.

Для исследования вопроса применена математическая модель, в частности теория функций распределения. Разработанный метод в виде графического построения и введенной формулы позволяет усовершенствовать метод расчетов при проектировании городских электросетей и внести необходимые коррективы в соответствующую часть действующих Руководящих указаний.

И. А. Жуков защитил 24 июня 1949 г. диссертацию на тему «Некоторые вопросы теории работы синхронных генераторов с компаундными возбудителями». Официальные оппоненты: доктор техн. наук И. М. Маркович и канд. техн. наук, доц. А. Веников.

Продолжены исследования П. С. Жданова по теории возбуждения синхронных генераторов с компаундными выпрямителями. Поставлена задача исследовать возможность расширения используемой зоны естественной обратной связи с помощью компаундирования схем возбуждения, при введении новой, в настоящее время не применяемой в схемах возбуждения гибкой обратной связи, позволяющей на скорость изменения тока возбуждения генератора. Проанализировано влияние различных параметров схемы возбуждения генератора на качество регулирования его напряжения и предложены оптимальные параметры систем возбуждения. Исследования велись применительно к параметрам типовых турбогенераторов, в качестве возбудителей которых предполагались компаундные генераторы с различной степенью компаундирования.

А. Г. Москалев защитил 27 июня 1949 г. диссертацию на тему «Автоматическое регулирование

частоты в энергосистемах». Официальные оппоненты: доктор техн. наук И. М. Маркович, доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов и канд. техн. наук, доц. В. А. Веников.

Предложен метод регулирования частоты по минимумами статическим характеристикам. К достоинствам метода относятся: обеспечение поддержания частоты на заданном уровне, независимо от нагрузки на регулирующих агрегатах; обеспечение устойчивого заданного распределения нагрузок между регулируемыми агрегатами; применимость при регулировании несколькими агрегатами и несколькими станциями и др.

В. А. Борисов защитил 3 марта 1950 г. диссертацию на тему «Исследование работы электромашиного усилителя с поперечным возбуждением в двигательном режиме». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов и канд. техн. наук, доц. Н. П. Кунцкий.

Показано, что электромашиный усилитель может быть использован не только в качестве генератора, но и в качестве двигателя. Двигатели подобного типа будут обладать следующими свойствами: плавным регулированием скорости вращения при ничтожно малой затрате мощности на управление; возможностью регулирования скорости одновременно в функции нескольких параметров; возможностью изменять форму естественной механической характеристики от жесткой шунтовой до мягкой сериесной; возможностью поддерживать постоянство скорости вращения с достаточно высокой степенью точности без применения специальных регуляторов. Применение электромашиного усилителя в качестве двигателя может оказаться целесообразным в специальных электроприводах, требующих малой мощности на управление, для регулируемых электроприводов, требующих поддержания постоянного скорости, в специальных многодвигательных системах автоматизированного электропривода.

Г. К. Салгус защитил 14 апреля 1950 г. диссертацию на тему «Конденсаторный электромашиный регулятор». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов и доктор техн. наук, проф. А. Н. Ларионов.

Подробно рассмотрены: принцип действия электромашиного регулятора, условия его самовозбуждения и явления, возникающие в нем при нагрузке. Впервые трактуются вопросы, связанные с методикой расчета, принципы действия и использования конденсаторного электромашиного регулятора в автоматических схемах управления и регулирования.

О. В. Слежановский защитил 14 апреля 1950 г. диссертацию на тему «Исследование электроприводов с электромашиным усилителем в качестве возбудителя». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов и инж. Н. А. Тищенко.

Дан анализ статических и динамических свойств электропривода при различных схемах управления с целью выбора схемы и ее параметров, с учетом требований, предъявляемых к статическим характеристикам, улучшения использования машин и создания необходимого запаса устойчивости. Доказано, что схемы с электромашиным управлением позволяют лучше, чем релейно-контактные, использовать двигатель, а следовательно, обеспечивают более высокую производительность механизма.

А. С. Веницкий защитил 12 мая 1950 г. диссертацию на тему «Модулированные резонаторы». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Ю. Б. Кобзарев и доктор техн. наук, проф. С. М. Рытов.

Предложен ряд измерительных устройств с использованием модулированных резонаторов, почти подобных широкополосной частотной модуляции. Показано, как распространить результаты, полученные для одиночного контура, на многоконтурную цепочку частотно-модулированных резонаторов, а также на резонаторы с многими резонансными откликами, несинфазно-модулированными по частоте. Приведены некоторые примеры практических применений модулированных резонаторов (измеритель крутящего момента на валу, многосегментный емкостный датчик и т. д.).

Н. П. Васильева защитила 9 июня 1950 г. диссертацию на тему «Расчет измерительных схем с измерительными и выходными трансформаторами».

маторами». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Н. И. Чистяков и доктор техн. наук, проф. В. Н. Мильштейн.

Проанализирована работа выходного трансформатора в измерительных схемах и дана методика определения оптимальных параметров трансформатора, соответствующих данной измерительной схеме. Разработана общая методика оценки погрешностей, вносимых измерительными трансформаторами в произвольную схему измерения. Разработана методика, позволяющая выявить требования, которые должны быть предъявлены к трансформатору, чтобы погрешности, практически им вносимые, не отражались на точности результата измерения.

Л. А. Вааг защитил 16 июня 1950 г. диссертацию на тему «Учет потерь активной мощности при выборе сечения проводов и кабелей». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд и канд. техн. наук В. И. Лапицкий.

Разобраны вопросы технико-экономического анализа в области энергетики: размер процента амортизации и текущего ремонта; необходимость учета эффективности капитальных вложений; необходимость особого учета потерь мощности; величина стоимости энергии потерь.

В. Л. Бакиновский защитил 23 июня 1950 г. диссертацию на тему «Определение места повреждения на линиях электропередачи и связи импульсным методом». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Ю. Ломоносов, канд. техн. наук, доц. П. В. Борисоглебский и канд. техн. наук, доц. М. Д. Гуревич.

Теоретические исследования и экспериментальная проверка, выполненные автором в ЦНИЭЛ МЭС в области импульсных измерений на линиях различных типов, послужили основанием для широкого внедрения в эксплуатацию импульсного метода. Дан обзор опубликованных материалов по импульсным измерениям на линиях, освещены вопросы, связанные с чувствительностью, точностью и методикой расчета основных параметров импульсных приборов.

В. П. Ларионов защитил 23 июня 1950 г. диссертацию на тему «Импульсный разряд в длинном воздушном промежутке при атмосферном давлении». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. В. Бургсдорф и канд. техн. наук А. П. Беляков.

Дан метод искусственного создания ступеней в лидерной стадии разряда и объяснен механизм их образования. Показаны причины возникновения ступеней в положительном лидере при подключении параллельно разрядному промежутку дополнительной емкости. Показано, что ступень во всех своих проявлениях аналогична главному разряду. Дан метод опытного определения средних градиентов потенциалов вдоль по каналу лидера. Получена зависимость средних градиентов в канале положительного лидера от величины тормозящего сопротивления в цепи разряда.

В. В. Пучковский защитил 27 июня 1950 г. диссертацию на тему «Испытания изоляции электрических машин методом саморазряда». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Ю. Ломоносов, проф. П. Г. Грудинский и канд. техн. наук Л. Г. Мамиконянц.

Исследован метод саморазряда для контроля электрических машин, предложенный автором в 1945 г. Показано, что скорость спада напряжения заана с увлажнением изоляции (измерение скорости разряда может быть, таким образом, применено в процессе контроля увлажнения), что скорость саморазряда реагирует на увлажнение более резко, чем угол па токи утечки и сопротивление изоляции, что чувствительность к увлажнению очень мало изменяется при переходе от высокого напряжения к низкому, в связи с чем открывается возможность контроля на низком напряжении для контроля в эксплуатации нет необходимости в наличии всей характеристики саморазряда.

М. Э. Жиц защитил 29 июня 1950 г. диссертацию на тему «Исследование самовозбуждения серийных тяговых электродвигателей в подвижном составе городского транспорта при реостатном торможении». Официальные оппоненты: проф. С. А. Погожев и канд. техн. наук, доц. Б. И. Петров.

Изложен метод, который дает возможность комплексного изучения неустановившихся режимов при реостатном торможении серийных тяговых электродвигателей, режимов, обусловленных той или иной формой управления двигателями и особенностями самого двигателя (его обмоткой, конструкцией остова, габаритами полюсов и якоря, величиной зазора и т. д.). Метод позволяет при соответственном своем видоизменении теоретически исследовать и ряд других коммутационных процессов в двигателях, как то: усиление и ослабление тока, процессы изменения тока двигателей при различных режимах и т. д.

Ю. Д. Рагозин защитил 29 июня 1950 г. диссертацию на тему «Электронные логометры». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. В. Ломоносов и канд. техн. наук Б. И. Петров.

Представлена схема импульсного логометра, позволяющая производить измерения отношения мгновенных значений двух знакопеременных напряжений благодаря применению усредняющей цепочки RC.

Б. А. Филиппов защитил 29 июня 1950 г. диссертацию на тему «Исследование электромагнитной системы управления возбуждением генератора реверсивного электропривода». Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. А. Я. Голован и канд. техн. наук А. Я. Лернер.

Предлагается рациональная система управления возбуждением генератора реверсивного электропривода, в которой устраняются недостатки существующих систем. Экспериментальная проверка на макете установки в лаборатории электропривода МЭИ подтвердила правильность принятой автором методики расчета и справедливость окончательных выводов в отношении преимуществ предлагаемых изменений системы электропривода. Эти усовершенствования могут быть внесены в системы, находящиеся в эксплуатации.

Ученый секретарь Ученого совета МЭИ
доц. А. С. СЕРГЕЕВ

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ. С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Библиотеки им. Ленина и в читальном зале библиотеки МЭИ.



В Комитете содействия строительству гЭС при Академии наук СССР

Комитет содействия строительству гидроэлектростанций, каналов, оросительных и обводнительных систем при Академии наук СССР принял решение о создании рабочего расширенного президиума Комитета. В состав расширенного президиума вошли: академик **С. И. Вавилов** (председатель Комитета), академики **И. П. Бардин**, **А. В. Топчиев**, **А. А. Благонравов**, **Г. М. Кржижановский**, проф. **В. А. Ковда** (заместители председателя), академики **А. В. Винтер**, **Т. Д. Лысенко**, **В. С. Немчинов**, **А. Н. Несмеянов**, **В. Н. Сукачев**, члены-корр. АН СССР **И. П. Герасимов**, **И. В. Тюрин**, президент АН УзССР **Т. А. Сарымсаков**,

инж. **С. Я. Жук** (Гидропроект), **А. Н. Аскоченский** (Министерство хлопководства СССР), доктора техн. наук **А. Ахутин** и **В. И. Дворяшин**, проф. **В. Ф. Васюткин**, **А. Хмельницкий**.

В числе организованных Комитетом 12 секций являются: секция *гидроэнергетики* (руководитель — академик **Г. М. Кржижановский**), секция *гидротехники* (руководитель — академик **А. В. Винтер**), секция *производства энергии* (руководитель — начальник технического управления по строительству и монтажу МЭС **И. И. Кандалов**), секция *экономики* (руководитель — академик **В. С. Немцов**) и др. секции.



В НТО Всесоюзного заочного энергетического института

В 1950 г. НТО ВЗЭИ продолжало развивать свою деятельность¹. На общем собрании членов Общества докт. наук, проф. М. А. Гаврилов прочел доклад «Автоматика и телемеханика; современное состояние, задачи и проблемы». В докладе были приведены многочисленные примеры применения автоматики и телемеханики в самых различных отраслях народного хозяйства, а также освещены перспективы дальнейшего развития автоматики и телемеханики.

Большее число докладов за последний год было сделано на заседаниях *секции электротехники и радиотехники* в частности, канд. техн. наук, доц. А. И. Долгин в докладе «Электрическое поле длинной линии» показал, что хотя в действительности поле длинной линии не является плоским, но уравнения длинной линии остаются справедливыми и в более общем случае. Кандидат техн. наук Я. М. Смородинский рассказал о защите линий электропередачи. Инж. Б. Н. Тардов в докладе «Исследование сопротивления изоляции гидрогенераторов» сообщил об исследованной им картине основных закономерностей сопротивления изоляции генератора и о полученных расчетных формулах.

Ряд докладов был заслушан на заседаниях *теплоэнергетической секции*.

На заседаниях *гидроэнергетической секции* были заслушаны доклады доктора техн. наук, проф. В. Г. Айвазяна «Севано-Зангинский каскад гидроэлектростанций» и канд. техн. наук, доц. А. А. Степанова «Экономика гидроэнергетики».

Несколько докладов было посвящено *научно-методическим* вопросам. В докладе канд. техн. наук, доц. Л. Стругацкого (на общетехнической секции) был представлен доклад великого русского ученого М. В. Ломоносова о естественности на основе материалистического мировоззрения. Канд. техн. наук, доц. А. И. Долгин (на секции электротехники и радиотехники) сообщил о предлагаемом им построении курса «Техника выключателей». В другом докладе А. И. Долгинов изложил на материалистической трактовке основные положения теории относительности.

По инициативе НТО в конце июня 1950 г. была проведена первая научно-техническая конференция ВЗЭИ, на которой было заслушано 25 докладов. На двух пленарных заседаниях были заслушаны доклады: канд. техн. наук, доц. А. В. Корицкого «Пионерская школа русских электротехников в энергетике и электромагнетизме»; доктора техн. наук, проф. М. А. Гаврилова «Автоматика и телемеханика в народном хозяйстве»; канд. техн. наук, доц. В. Б. Пакшверы «Проблемы дальнейшего теплоснабжения»; доктора техн. наук, проф. Б. М. Тареева «Современные достижения в технике электрической изоляции»; канд. техн. наук, доц. Р. В. Терехова «Атомная энергия и ее применение».

На двух совместных заседаниях *Электроэнергетической* и *Электроизоляционной секций* были заслушаны до-

клады: проф. П. Г. Грудинского «Потери энергии в электрических системах и методы их снижения»; канд. техн. наук, доц. А. А. Степанова «Основные вопросы экономики гидроэнергетики»; канд. техн. наук, доц. А. И. Долгинова «Расчет грозоупорности линий электропередачи с тросами»; инж. С. М. Рожанского «Эксплуатация изоляции сильно загрязняемых открытых распределительных устройств»; инж. Б. Н. Тардова «Исследование сопротивления изоляции генераторов»; студентов ВЗЭИ — С. Г. Константинова «Аппарат для записи неустановившихся процессов, происходящих в электрических системах при гашении дуги», П. И. Завалишина «Олеомаксимовские конденсаторы» и Ю. М. Горского «Оценка надежности схем соединений в электрических системах с помощью теории вероятностей».

На совместном заседании *Электроэнергетической* и *Электрохимической секций* были заслушаны доклады: доктора техн. наук, проф. В. Г. Айвазяна «Экономически наиболее выгодное распределение нагрузок между тепловыми и гидравлическими электростанциями энергосистемы»; канд. техн. наук Г. М. Уланова «Развитие теории автоматического регулирования и приоритет отечественных ученых»; инж. В. Г. Чалого «Электромашинный регулятор напряжения синхронных генераторов».

На заседании *Электроэнергетической секции* были заслушаны доклады канд. техн. наук, доц. Н. А. Мельникова «Расчеты электрических систем с трансформаторными связями» и канд. техн. наук Е. А. Костровой «Возможности применения пофазного и трехфазного АПВ».

На заседании *Электрохимической секции* были заслушаны доклады канд. техн. наук, доц. И. И. Петрова «Новые методы тепловых расчетов электроприводов при циклической нагрузке» и канд. техн. наук А. И. Шукина «Процессы в синхронноследящих системах электроприводов».

На двух заседаниях *Теплоэнергетической секции* были заслушаны доклады доктора техн. наук, проф. М. Б. Равича, доктора техн. наук, проф. Л. С. Эйгенсона, доктора техн. наук М. С. Шкроба, канд. техн. наук, доц. В. Б. Пакшверы и доктора техн. наук, проф. Б. М. Якуба.

Институт издал типографским способом сборник тезисов докладов, представленных на конференцию. В печати находится созданный по инициативе НТО ВЗЭИ первый сборник трудов института.

В своей дальнейшей работе НТО ВЗЭИ наметило усиление деятельности Общества в научно-методических вопросах, и особенно в направлении обеспечения партийности преподавания и борьбы с проникновением в учебные материалы реакционных буржуазных теорий.

Общее собрание членов НТО ВЗЭИ избрало новый президиум в составе члена-корр. Академии наук СССР И. Н. Андреева (председатель), канд. техн. наук, доц. Н. А. Мельникова (зам. председателя) и канд. техн. наук Е. А. Костровой (уч. секретарь). Общетехническая секция Общества была разделена на две: механико-математическую и физико-химическую.

Кандидат техн. наук, доц. Н. А. МЕЛЬНИКОВ



С. С. ГОРОДЕЦКИЙ. ИСПЫТАНИЕ КАБЕЛЕЙ С ПРОПИТАННОЙ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ. 148 стр., ц. 5 руб. 75 коп. Госэнергоиздат, 1950.

В книге подробно рассматриваются методы испытания силовых кабелей с бумажной пропитанной изоляцией и описываются применяемые при испытании измерительные приборы и схемы, а также приводятся выдержки из действующих правил и норм по испытанию кабелей.

В основном излагаемые в книге методы испытания относятся к стандартным испытаниям, предусмотренным ГОСТ 340-41, и испытаниям профилактического типа, применяемым для контроля состояния изоляции высоковольтных кабельных линий. Приведено несколько испытаний, не применявшихся до сих пор в нашей практике. Все описанные способы измерений и испытаний обоснованы теоретически, подкреплены данными практики и отражают передовую технику в данной области. Полученные при испытании результаты ставятся в связь с дефектами конструкции и технологии высоковольтных кабелей.

В общем книга производит хорошее впечатление и, несомненно, окажется полезной для инженеров и техников предприятий кабельной промышленности и эксплуатационных организаций.

Переходим к более детальному рассмотрению книги по главам. В главе первой излагаются методы определения геометрических размеров и механических свойств кабелей путем измерения и испытания образцов кабеля. Приводится новое для нашей практики измерение симметрии многожильных кабелей с секторной жилой. Однако помещенная в тексте фиг. 4 показывает только ошибку в чертеже, а не асимметрию жил кабеля. Кроме того, из-за опечатки непонятно, какая же наибольшая величина угла искажения, 10° или 15° , рекомендуется автором.

В разделе «Испытание на изгибание» ничего не говорится о температуре, при которой должно проводиться это испытание, а это весьма важно именно для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.

При изложении в главе третьей раздела «Токи в изоляции кабеля при включении на постоянное напряжение» током необратимой абсорбции назван быстро уменьшающийся ток, а током обратной абсорбции — медленно изменяющийся со временем ток. Причиной появления токов абсорбции является процесс изменения зарядов внутри диэлектрика, что может быть связано с его неоднородностью. Общепринятое определение обратной и необратимой абсорбции вытекает из обратимости или необратимости дополнительных (абсорбционных) зарядов в диэлектрике. Если дополнительный заряд, полученный диэлектриком в процессе заряда, возвращается полностью при разряде, то говорят об обратной абсорбции и, стало быть, об обратимых токах абсорбции. Часть дополнительного заряда, которая рассеивается в диэлектрике из-за наличия в нем повышенной проводимости, характеризует необратимый ток абсорбции. При таком понимании изменение обратимого и необратимого токов абсорбции во времени будет как раз обратное изложенному в книге С. С. Городецкого, т. е. обратимый ток будет быстро изменяться, а необратимый — медленно. Зачем на фиг. 13 приведено разложение токов абсорбции на составляющие, когда ни слова не сказано о методах измерения токов абсорбции? Ничего также не говорится о процессе разряда и о появлении остаточного заряда, который в высоковольтных кабелях может достигать больших значений, опасных для жизни обслуживающего персонала.

В той же главе третьей приведена схема сравнения (фиг. 17) для измерения емкости и сопротивления изоляции, которая в таком виде на наших кабельных заводах для измерения силовых кабелей не применяется. Автор пишет, что измерение емкости для силовых кабелей не производится, так как оно не требуется ГОСТ; на самом деле некоторые кабельные заводы, в порядке дополнительного контроля, производят измерение емкости силовых кабелей.

В разделе «Погрешности при измерении сопротивления изоляции» вместо основных причин, снижающих точность измерения (недостаточная величина отсчета по гальванометру; «собственное отклонение схемы»; влияние концов, температуры, предыдущих зарядов и длительности электризации) рассматривается лишь одна погрешность, обусловленная длительностью процесса заряда батареи измеряемой емкости через большое эталонное сопротивление. Самым простым средством борьбы с этой погрешностью является шунтирование эталонного сопротивления или ограничение его величины (до 10 000 ом) при измерении сопротивления изоляции длинной кабельной. Этот раздел следовало бы целиком переработать.

В главе четвертой «Измерение диэлектрических потерь» дана классификация потерь и нормы на величину потерь (вернее, $\text{tg } \delta$) в кабеле. Здесь отсутствует упоминание на связь потерь с $\text{tg } \delta$, емкостью, напряжением частотой переменного тока

$$P = \omega C U^2 \cdot \text{tg } \delta.$$

Неправильно утверждение автора (стр. 44), что в кабеле с поясной изоляцией результаты измерения диэлектрических потерь практически не зависят от величины схемы измерения. Даже в хорошо выполненном кабеле $\text{tg } \delta$ для трех жил против свинца имеет большее значение при измерении по схеме — одна жила против других и свинца. Достаточно полно и ясно изложены методы измерения $\text{tg } \delta$, способы экранирования и заземления измерительной схемы и концевых заделок кабелей. Рассматриваются также специальные схемы и методы измерений, а также поправки результатов измерений. Нависает приоритет русских ученых во введении схемы перевернутого моста (стр. 69).

Испытание кабеля переменным током (глава пятая) и постоянным током (глава шестая) и импульсами напряжения (глава седьмая) изложены на достаточно высоком научном уровне и отвечают современным требованиям предъявляемым к этим испытаниям. Почему-то не отмечено, что впервые компенсация емкостного тока при испытании кабеля высоким напряжением была осуществлена у нас в Советском Союзе (на заводе «Севкабель» испытание 35-киловольтного кабеля в 1924 г. («Техника и производство», № 3, 1925). Впервые приводится рекомендуемая автором книги методика определения механической прочности кабеля.

Достаточно хорошо изложена глава восьмая «Изменение на ускоренное старение и стабильность изоляции».

Автор не привел в книге описания новых приборов, например, разработанного кафедрой Кабельной техники МЭИ прибора для обнаружения разрядов в кабеле, и ряд значительно совершеннее приведенной в книге схемы прибора для фотоконтроля качества наложения бумажных лент кабельной изоляции.

В общем, книга известного специалиста по высоковольтным измерениям — профессора С. С. Городецкого является первой в этом роде, восполняет пробел в нашей технической литературе и, несомненно, будет ценным пособием для широкого круга инженеров и техников, занимающихся делом с высоковольтными кабелями, а также может быть использована и как учебное пособие для студентов энергетических вузов и техникумов.

В будущем, при переиздании книги, следует отметить несколько увеличить объем наиболее важных делов, которые в первом издании изложены весьма кратко и конспективно.

Доктор техн. наук, проф. С. М. БРА
Московский энергетический институт им. Молотова

¹ Данная рецензия обсуждена и одобрена на заседании секции электрической изоляции НТО МЭИ 25 октября 1950 г.



Н. А. СМОЛЬКОВ. РАДИОВОЛНЫ И МАГНИТИЗМ. 30 лет лаборатории электромагнетизма Физического факультета МГУ, 66 стр., ц. 4 руб. Издание МГУ, 1950.

В монографии кратко рассмотрены те области физики, в которых достижения отечественной научной мысли за последние несколько десятилетий особенно значительны. В лаборатории электромагнетизма МГУ успешно развивались работы славных русских ученых, профессоров Московского университета А. Г. Столетова, Н. А. Умова и особенно П. Н. Лебедева. Основное содержание посвящено достижениям этой лаборатории: развитию и обобщению электромагнитной теории света, развитию теории электромагнитных процессов в металлах на базе новых экспериментальных достижений, созданию новых отраслей науки: магнитодинамики, магнитной спектроскопии, стигмаграфии, изобретению массового излучателя и т. д. В заключительной части характеризуется проводившаяся лабораторией научно-воспитательная работа и помощь, оказанная ею промышленности. Особое внимание в монографии уделяется приоритету В. К. Аркадьева в ряде важных открытий.

Книга рассчитана главным образом на лиц, знакомых с современными достижениями физики. Автор удовлетворительно справился с задачей изложения совокупности понятий, характеризующих деятельность лаборатории, и в частности с нелегкой задачей отчетливого изображения различий, имевшихся между электромагнитной теорией Максвелла и действительностью, и показал их успешное преодоление В. К. Аркадьевым (стр. 17—22). Однако отдельные очерки остаются в тексте разрозненными, мало связанными друг с другом. Недостаточно охарактеризована преемственная связь между работами лабораторий П. Н. Лебедева и В. К. Аркадьева. Упоминая стр. 4—5 о П. Н. Лебедеве и его учениках, автор нечетко только работы П. Н. Лебедева по экспериментальному определению давления света и не указывает, например, на большую группу работ лаборатории Н. А. Лебедева в области электромагнитных колебаний и волн.

Из частных недостатков рассматриваемой монографии можно отметить следующие. Весьма серьезному разделу классификации магнитных проницаемостей, число которых определено уже до 77, посвящено только $\frac{1}{2}$ страницы, так что читатель не получает представления ни о вышедшей работе, выполненной в лаборатории, ни о самих магнитных проницаемостях (об их физических и количественных различиях, о расположении их на петле гистерезиса и пр.). Почти ничего не сказано об оригинальной, разработанной под руководством В. К. Аркадьева методике измерений, «известной под именем «эхо-бок»» (не пояснен даже термин «эхо-бокс»!).

Автор не отмечает, что П. Н. Лебедевым были получены волны длиной 3 мм (а не только 6 мм, стр. 37). Да-

лее, «Идея П. Н. Лебедева о размещении электромагнитных волн на логарифмической шкале» была не только высказана (стр. 40), но и реализована им еще в 1901 г.

Говоря о том, что Б. С. Якоби был изобретателем «первого в мире мотора постоянного тока» (стр. 53), следовало уточнить, что двигатель Якоби был первым в мире электрическим двигателем с вращательным движением и, таким образом, с кинематической точки зрения явился прототипом современных двигателей не только постоянного, но и переменного тока.

Утверждение автора о «совпадении», обнаруженном «между отношением электромагнитных и электростатических единиц» (стр. 35) и скоростью света c , является в столь общей формулировке совершенно неверным, поскольку, как известно, «отношение электромагнитных и электростатических единиц» может равняться также обрат-

ной величине, т. е. $\frac{1}{c}$ и даже $\frac{1}{c^2}$ необходимо было кон-

кретизировать фигурировавшие в опыте Вебера и Колярауша единицы (единицы количества электричества).

Из неудачных и неправильных выражений, допущенных автором, следует указать на выражение: «ферромагнитные металлы не потому сильно блестят, что к ним неприменима теория Максвелла или что она неверна...» (стр. 22). Как известно, блеск и другие физические свойства металлов отнюдь не зависят от применимости к ним или верности какой-либо теории.

В книге имеется, к сожалению, ряд незамеченных опечаток. Совершенно недопустимой является ошибка в численном выражении величины скорости света: $3 \cdot 10^{-10}$ см/сек (стр. 21), вместо $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Из других опечаток можно указать: «постоянный ток» (стр. 26), «спекшие опилки» (стр. 49), «когерера» (стр. 51), «диамагнитного веществ» (стр. 47), «упорядочение... дала» (стр. 41) и др.

Научно-исследовательским институтам и научно-техническим издательствам следует учесть хорошее начинание МГУ и осветить в научно-популярных монографиях достижения других отечественных лабораторий. Может быть целесообразно приступить к организации издания серии «Замечательные лаборатории» (в дополнение к серии «Жизнь замечательных людей»).

Можно полагать, что книга Н. А. Смолькова будет прочитана с интересом не только специалистами в рассмотренной области, но и широкими кругами инженеров-электриков.

Инж. Н. А. ШОСТЬИН



Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

(Издания 1950 г.)

БОТВИННИК М. М. РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ И СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ МАШИН. 63 стр., ц. 2 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

Освещен вопрос повышения статической устойчивости синхронных машин при передаче энергии переменным током на сверхдальние расстояния с помощью регулирования возбуждения по отклонению угла смещения ротора. Книга рассчитана на инженеров, работающих в области регулирования электрических систем.

ГОНЧАРОВ А. Д. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ. Под редакцией М. Г. Нестерова. 279 стр., ц. 15 руб. Оборонгиз.

ПРИЗЕНТ Д. И. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ АППАРАТОВ ПРОВОЛОЧНОЙ СВЯЗИ. Основные технологические свойства материалов и общие методы обработки. 464 стр. + вклейка, ц. 23 руб. 90 коп. Госэнергоиздат.

РАМЛАУ П. Н. РАДИОТЕХНИКА (Серия «Транспортная связь»). Второе переработанное издание. Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебника для институтов железнодорожного транспорта. 332 стр., ц. 35 руб. Трансжелдориздат.

РАХМАНОВ Л. ЯБЛОЧКОВ (Серия «В помощь школьнику») Иллюстрации Г. Фитингофа. 84 стр., ц. 3 руб. Детгиз.

*** СОЛОВЬЕВ И. И. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.** 500 стр., 17 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

Книга состоит из одиннадцати глав, в которых рассмотрены вопросы автоматизации энергосистем: пуск и остановка электромашины и агрегатов, включение резервного оборудования, повторное включение линий электропередачи, синхронизация генераторов, регулирование напряжения и реактивной мощности генераторов, регулирование частоты и активной мощности генераторов, аварийная разгрузка и разделение энергосистем, а также применение устройства телемеханики для автоматизации электрических систем. В каждой главе разбираются соответствующие примеры и даются вопросы для самопроверки. Книга может быть полезна при изучении рассматриваемой области техники студентам, а также инженерам, занятым вопросами автоматизации энергосистем.

СТРЕЛКОВ С. П. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ КОЛЕБАНИЙ. 344 стр., ц. 9 руб. 85 коп. Гостехиздат.

Книга состоит из двух частей, первая из которых содержит восемь глав, а вторая — три главы. В первой части рассмотрены колебания систем с одной степенью свободы, и в частности: собственные колебания в линейных системах, собственные колебания нелинейной консервативной системы, вынужденные колебания в линейной системе, элементы теории регистрирующих приборов, некоторые применения теории резонанса в радиотехнике, вынужденные колебания в простейших системах с нелинейными элементами,

параметрические колебания, автоколебания. Во второй части рассмотрены колебания в линейных системах с многими степенями свободы и в частности: колебания систем с двумя степенями свободы, колебания в линейных системах с многими степенями свободы, колебания систем с распределенными параметрами. Во второй части книги сделан небольшой исторический обзор развития теории колебаний. Книга рассчитана на лиц, желающих серьезно изучить теорию колебаний.

*** СТУПЕЛЬ Ф. А. РАСЧЕТЫ И КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ.** Допущено в качестве учебного пособия: высших учебных заведений по электротехническим специальностям. 311 стр., ц. 11 руб. Госэнергоиздат.

Книга, являющаяся второй частью работы того же автора, изданной в свет в 1948 г. под названием «Реле защиты и автоматики», состоит из трех разделов. В первом разделе даются сведения по элементам и деталям реле. Второй раздел содержит основные соотношения для расчета. В третьем разделе дан расчет систем постоянного и переменного тока, а также поляризованных реле. В тексте приведено много таблиц и справочного материала, нужного при расчете и проектировании.

ТАРЕЕВ Б. М. ЛЕКЦИИ ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ», вып. II-A. Электрические свойства диэлектриков (Введение. Удельное сопротивление диэлектриков). 32 стр., 6 платно. Всесоюзный заочный энергетический институт.

*** УРНОВ К. В. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН.** Допущено в качестве учебного пособия для полиграфических институтов. 312 стр., ц. 11 руб. Гизлегпром.

ФАБРИКАНТ В. Л. ФИЛЬТРЫ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ. 276 стр., ц. 17 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

В книге даны основные соотношения и параметры фильтров для релейной защиты. Разработаны показатели фильтров, дающие возможность их сравнения. Приведена классификация фильтров и определены параметры и показатели фильтров отдельных классов и групп. Дан метод расчета фильтров. Рассмотрены вопросы регулирования и компенсации фильтров. Книга снабжена достаточным числом примеров. В трех приложениях книги рассмотрены вопросы расчета катушек индуктивности для фильтров, соотношения и параметры фильтров напряжения отрицательной последовательности, определение показателей фильтров напряжения положительной последовательности при изменении частоты.

ПЕННЕР А. Ф. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЕЙ, ПРОВОДОВ И ШНУРОВ. 152 стр., 10 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

В книге излагаются методы расчета отдельных элементов кабелей, проводов и шнуров (скрученные жилы, обмотка лентами и т. п.), кордельно-бумажная изоляция, оплетка, дельта-асбестовая изоляция, эмалевая изоляция, свинцовые оболочки, броня и т. п. В приложении дан ряд справочных таблиц.

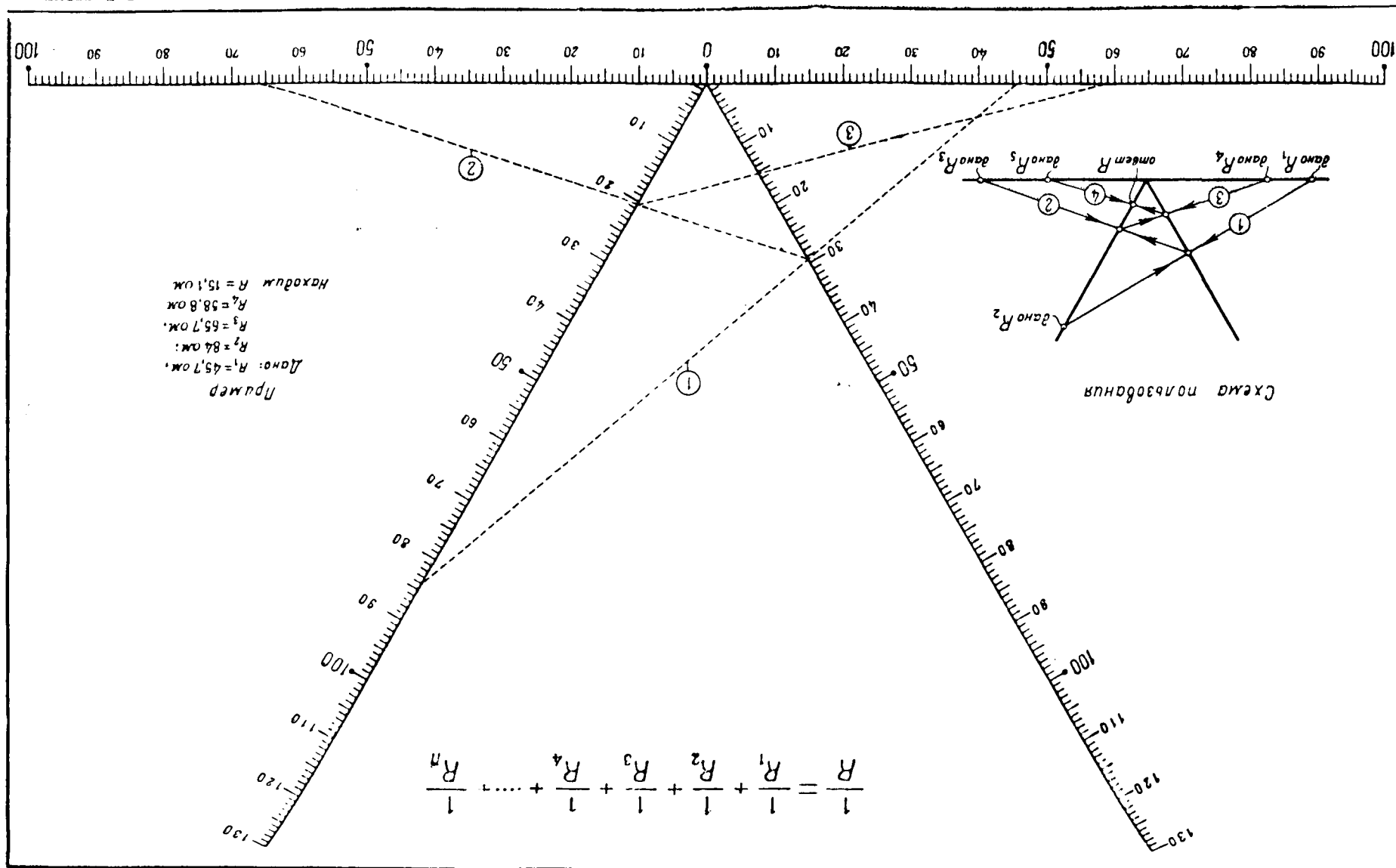
ЭЛЬКИНД Ю. М. ЧАСТОТОМЕРЫ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ИХ ПРОВЕРКИ. 184 стр., ц. 10 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.



ОБРАЩЕНИЕ РЕДАКЦИИ

Для пополнения редакционного комплекта журнала «Электричество» редакция обращается с просьбой к лицам и организациям, располагающим свободными комплектами журнала «Электричество» за годы, указанные ниже, сообщить об этом редакции журнала по адресу: Москва, Главпочтамт, почтовый ящик № 648.

В редакции не достают комплекты журнала за 1880, 1881, 1883—1888, 1891—1900, 1901—1906, 1909, 1912, 1913 г.г.



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

на ежемесячный
научно-технический журнал

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган Академии наук СССР,
Министерства электростанций СССР и Министерства
электропромышленности СССР

Основан в 1880 г. Русским техническим обществом

Журнал рассчитан на широкие круги инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники.

Журнал широко освещает основные теоретические и практические вопросы, связанные с развитием электротехники и электрификации народного хозяйства СССР.

Журнал „Электричество“ уделяет особое внимание вопросам внедрения новой передовой электротехники во всех отраслях народного хозяйства СССР.

В журнале освещаются новые научно-технические проблемы, связанные с величайшими сооружениями Сталинской эпохи — Куйбышевской и Сталинградской гэс, Главным Туркменским каналом и другими энергетическими строениями.

Журнал систематически освещает вопросы истории русской электротехники.

В журнале принимают участие виднейшие ученые и специалисты — электротехники Советского Союза.

Подписка на журнал „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“ принимается во всех отделениях
Союзпечати и во всех почтовых отделениях

12 номеров в год

(144 печатных листа)

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

12	месяцев	96	руб.
6	„	48	„
3	„	24	„

Годовым подписчикам на журнал будет выслан в качестве приложения карманный календарь-справочник на 1951 г.