Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

15-16
АВГУСТ
1932

Орган Всесоюзного электротехнического об'единения (ВЭО), Главного управления энергетического хозяйства (Главэнерго), Энергетического института Академии Наук СССР и Всесоюзного энергетического комитета (ВЭК)

Адрес редакции:
МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский пер., д. 2, 1-й этаж. Телеф. 72-46 и 1-57-19

Содержание

	Стр.
Передовая—Развернуть по-боевому техническую пропаганду	763
Н. М. Мильштейн—Задачи энергостроительства УКК	766
М. Я. Лапиров-Скобло—Проблемы технической реконструкции электропромышленности во 2-й пятилетке	769
Р. Майер—Устойчивость сетей и влияние на нее перевозбуждения	784
П. Ф. Ракушев—О расчете токов короткого замыкания и выборе реакторов для их ограничения	790
А. Я. Слоним и В. Л. Иносов—Статические конденсаторы и проблема повышения cos φ	798
Хроника	807
Библиография	808
Вниманию читателей. Тематический указатель статей журнала „Электричество" за 1931 г.	810
Аннотации	815

Развернуть по-боевому техническую пропаганду

Успешно разрешаемая сейчас пролетариатом СССР под руководством ВКП(б) во главе с ленинским ЦК задача технической реконструкции тесно связана с широким применением и интенсивным внедрением электричества в народное хозяйство.

Сооружаются и уже пущены в ход сотни новых заводов и фабрик, мощных электроцентралей и крупных рудников и шахт, МТС и т. д.

Нами освоены десятки совершенно новых, неизвестных в России до сих пор производств (автомобили, комбайны, новые металлы и сплавы, пластмассы, синтетический каучук, блюминги и т. д.).

Мы превращаем „нашу страну из аграрной в индустриальную, способную производить своими собственными силами необходимое оборудование" (Сталин),

Колоссальные достижения нашего социалистического строительства развертываются на базе бурного под'ема творческой энергии широких масс пролетариата и колхозного крестьянства.

Именно поэтому исключительно действенную, решающую роль в процессе создания новой технической базы, адекватной социализму играет массовое овладение достижениями современной передовой техники.

Новейшие агрегаты, станки-автоматы, тонкая аппаратура, сложнейшие механизмы, сконструированные по последнему слову технического прогресса, новые принципы организации производства (механизация и автоматизация на электрической основе управления машинами и технологическими процессами) требуют новых навыков и приемов в работе, высокой технической культуры рабочего мастера, инженера и хозяйственника.

Совершенно очевидно, что передовые социалистические формы промышленного производства требуют новых знаний, и технической квалификации.

Поэтому особо важной является задача подготовки многих миллионов новых людей, впервые входящих в производство, не имеющих никаких технических навыков, чьими руками сооружаются, налаживаются и пускаются в ход новые заводы и фабрики.

Основная масса рабочих, заполняющая сейчас заводы и стройки, должна в наикратчайший срок овладеть искусством управлять этими совершенными средствами производства.

Недооценка, забвение этого решающего фактора приводит к угрозе срыва плана работ.

В связи с этим, большой интерес представляет собою следующее указание Ленина, значение которого в особенности актуально для данного этапа социалистического строительства:

„ ... берет тот, у кого величайшая техника, организованность, дисциплина и лучшие машины; этому научила война и прекрасно, что научила. Учиться надо тому, что без машины, что без дисциплины жить в современном обществе нельзя,—

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

или надо преодолеть высшую технику, или быть раздавленным" (из доклада Ленина на IV Чрезвычайном Всероссийском с'езде Советов в марте 1918 г., соч. том 22, изд. 3, стр. 406).

Преодоление высшей техники многомиллионными массами не может базироваться только на школьных формах обучения (ФЗУ, техникумы и т. д.).

Необходимо привести в движение все рычаги, мобилизовать все виды широко развернутой сети дополнительного рабочего образования и массовой производственно-технической пропаганды во всех звеньях промышленности и индустриализирующейся деревни.

Ленин всегда высоко расценивал значение технической пропаганды.

Достаточно вспомнить как Ленин во время X—и XI с'ездов РКП(б) ставил вопрос об основных задачах профсоюзов „На основе правильного политического решения провести—вернее—проводить длительную, систематическую, настойчивую, терпеливую, разностороннюю, повторную, производственную пропаганду„ (Ленин „Еще раз о профсоюзах" соч. том 18, стр. 65).

Особенно настойчиво Ленин выдвигал задачу пропаганды новой техники—электрификации.

Выступая на III-м с'езде РКСМ (4-го октября 1920 г.), Ленин сказал:

„Перед Вами стоит задача хозяйственного возрождения всей страны, реорганизация, востановление и земледелия и промышленности на современной технической основе, которая покоится на современной науке, технике, на электричестве.

Вы прекрасно понимаете, что к электрификации неграмотные люди не подойдут, и мало тут одной простой грамотности. Здесь недостаточно понимать, что такое электричество: надо знать как технически приложить его к промышленности и к земледелию и к отдельным отраслям промышленности и земледелия. Надо научиться этому самим, надо научить этому все подрастающее трудящееся поколение" (Соч. том 17. изд. 1923 г., стр, 319—320).

Ленин указывал, что необходимо добиться, чтобы „устраивались обязательно общедоступные народные чтения об электричестве и об электрификации РСФСР и о технике вообще". (Из предисловия к книге И. И. Степанова „Электрификация РСФСР в связи с переходной фазой мирового хозяйства").

Центральный Комитет ВКП(б) 5-го августа 1931 г. вынес историческое постановление „О технической пропаганде и ее организации", наметившее ряд важнейших конкретных мероприятий на этом участке развернутого социалистического наступления.

С какими же итогами мы приходим к первой годовщине этого постановления ЦК партии?

Необходимо признать, что на одном из важнейших участков производительных сил—на участке энергетики и электрификации, в борьбе за выполнение первой пятилетки народно-хозяйственного развития и в подготовке ко второй пятилетке, несмотря на значительные достижения, техническая пропаганда еще не заняла надлежащего места.

Правда, уже по целому ряду крупнейших приятий нашего Союза мы имеем кру достижения в борьбе за выполнение техничес плана и технических показателей, за усил технического содержания промфинплана и и растание последнего в техпромфинплан.

Необходимо отметить работу, проведенну составлению техпромфинплана станций МОГЭС'у, Электротоку и Севкавэнерго.

Однако, из всей системы Главэнерго приход ся в основном ограничиться этими тремя ха ственными организациями, достигшими ре ных результатов в этой области, что вес показательно для характеристики постан работы по составлению техпромфинплана.

Техпромфинплан является центральным мо том в работе по техпропаганде, вокруг котор должен быть мобилизован весь рабочий техн ский актив, вся общественность предприятий, научно-технические силы.

Освоение новых мощностей, освобождение импорта, экономия топлива и материалов, бо ба с авариями, максимальная механизация и ав матизация машин и производственных процес внедрение новейших наиболее совершенны гибких приемов и технических навыков и ши кое применение рационализаторских меропр тий, таковы кратко те вехи, по которым ж жен составляться техплан—как неразрывная ча общего единого техпромфинплана станции, за да, стройки,

Необходимо, как пример, отметить, завод „Э тросвет", сумевший хорошо поставить работу составлению техпромфинплана (проведен об заводской техбой, втянута общественность за да и т. д.).

Техническая пропаганда должна мобилизов всю массу рабочих-ударников, изобретателей, И комсомол для борьбы за независимость СС в техникоэкономическом отношении.

Целый ряд предприятий (ХЭМЗ и др.) уже роко и по-настоящему включился в этот по

Так например, завод „Электропровод" по вил и освоил ряд новых производств (но кабели, провода и станки).

Ряд рабочих-ударников этого завода пока образцы производственного творчества и тех ческой изобретательности.

Слесарь-изобретатель ленто-сборочного ц завода „Электропровод" тов. Масленников пре жил и применил способ освинцевания отечест ной ленты, которую раньше ввозили из-за гра цы, этим сэкономив в валюте сумму в 315 ты

Тов. Лебедев предложил уменьшить поясн изоляцию силовых кабелей (не ухудшая их ч чества), уменьшив необходимость импорта су фатной целлюлозы и других импортных матери лов на сумму в 84 тыс. руб.

Коллектив „Электропровода" решил уже 1932 г. освободить завод полностью от импо ной зависимости.

Несмотря на значительный охват массовы формами технической учебы основных профес все же положение здесь не совсем благопол но. Слабая обеспеченность различных ступен массовой техучебы вполне грамотными и разв нутыми разработками по техминимуму (точн

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

указание часов по отдельным подразделам и темам, правильный подбор литературы и т. д.), отсутствие твердых дней техучебы в течение месяца, самовольная отмена уже фиксированных дней техучебы, различными заводскими организациями—создают крупные перебои в систематической и упорной работе по завоеванию технической грамоты.

Слабо охвачены техучебой, повышением квалификации и расширением технического кругозора, инженерно-технические работники и административно-хозперсонал, не всегда полностью оценивающие овладение всеми новинками науки и техники.

Задачи технической пропаганды и на сегодняшний день еще в полной мере не осознаны нашими хозяйственными и общественными организациями, что можно видеть из слабого участия фабрично-заводской общественности (Завком, ИТС и т. д.) в этой работе.

Проблема кадров для руководства и развертывания техпропаганды во всех звеньях нашего хозяйства, начиная от главка и кончая бригадой в цеху, стоит сейчас очень остро.

Крайне слабо поставлена техинформация, так например в ВЭО, она еще находится в периоде так называемого организационного оформления".

Пом-директора по производственным совещаниям должны, наконец, по-настоящему начать руководить важнейшей работой, порученной им партией—техпропагандой.

Развернутая техпропаганда должна быть положена в основу программы работы общества по овладению техникой и недавно организованного всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетиков—ВЭНИТО. Об успехе работы этих обществ можно будет судить по достижениям в области техпропаганды.

Техническая общественность должна максимально привлечь к работе по производственно-технической пропаганде иностранных рабочих и специалистов.

На наших колхозных и совхозных полях растет новый тип крестьянина-колхозника и сельско-хозяйственного рабочего тракториста, моториста, комбайнера—работника крупнейшего в мире механизированного сельскохозяйственного производства.

Растет новый тип рабочего у станка-автомата, у конвейера, у мощного турбогенератора и т. д.

Растет новый тип специалиста из среды рабочего класса.

Необходимо эти творческие кадры широко охватить технической пропагандой, отставание последней от задач технической реконструкции должно быть в наикратчайший срок преодолено.

Необходимо создать вокруг технической пропаганды широкое общественное движение превратить техпропаганду в важнейший элемент борьбы за большевистское овладение техникой, за реализацию 6 условий тов. Сталина.

Научно-технические журналы—на службу социалистическому строительству

От редакции

Печатаемая ниже выдержка из резолюции по докладу т. Н. И. Бухарина недавно состоявшейся в Москве конференции редакций научно-технических журналов содержит основные указания о направлении перестройки журналов. Эти указания целиком и полностью относятся и к журналу „Электричество". Начатая более года тому назад и ведущаяся сейчас перестройка „Электричества" еще далеко не обеспечила полностью тех условий, которые выдвинуты конференцией по докладу т. Н. И. Бухарина и которые положены в основу планов самой редакции „Электричества". Нашей задачей является совместно с широким научным и инженерно-техническим активом журнала обеспечить выполнение этих условий в кратчайший срок.

Конференция отмечает, что за последний год научно-технические журналы количественно выросли (160 журналов), значительно окрепли, охватили основные отрасли производства и обслуживают уже 2—3 млн. читателей. Однако, имеющиеся у журналов достижения сочетаются с большим количеством недочетов, тормозящих и задерживающих дальнейшее укрепление и развитие научно-технических журналов (нечеткое представление того, что собою представляют технические журналы и потому подмена зачастую журнала монографией или технической книгой, неумение переводить на технический язык данной отрасли политических директив партии. Неумение выдвигать ведущие технические проблемы, отсутствие связи с технико-экономическими планами строительства, чрезвычайно слабая техническая информация, слабое освещение достижений мировой науки и техники, слабое обобщение опыта социалистического строительства, недостаточная дефференциация по отдельным группам читателей и т. д. и т. п.).

Конференция считает, что научно-технический журнал должен быть политически действенным журналом, должен быстро реагировать на все политические задачи, стоящие перед партией. Эта действенность журнала должна заключаться в умении быстро преломлять политическую директиву партии на технический язык. Технический журнал должен уметь в любом решении партии найти те технические задачи, которые вытекают из этих решений для данной отрасли техники, и мобилизовать вокруг этих задач, из номеров в номер, авторскую и читательскую массу.

Научно-технический журнал в отличие от учебника, книги, монографии и газеты должен давать своей читательской массе быстро и своевременно ряд злободневных высококачественных тем, однако, не так, как газета, в виде краткой информации, а с исчерпывающей полнотой и ссылкой на первоисточники, из которых заимствована данная тема.

Конференция считает, что научно-технический журнал должен находиться на уровне современной мировой науки и техники, в связи с чем давать злободневную продукцию не только по темам, проблемам и достижениям, но и по качеству выполнения. Технический журнал должен тесно связывать свою работу с технико-экономическими планами строительства, должен постоянно тереотически обобщать опыт социалистического строительства, уметь ставить на обсуждение и дискуссии технические проблемы. Журналы должны организовать вокруг себя такую научно-техническую общественность, чтобы на основе этой авторитетной связи с компетентными людьми превратиться в руководящий идейный центр, отнюдь не приказного характера.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Задачи энергостроительства Урало-Кузнецкого комбината

Н. М. Милы
Энергостр

На территории Урала, Западной Сибири, Башкирии и Казакстана на основе сочетания уральской руды и кузнецкого коксующегося угля Советский союз создает свою восточную угольно-металлургическую базу.

Во вновь организуемые отрасли народного хозяйства Урало-Кузнецкого комбината (УКК)[1]) включены черная и цветная металлургия, каменноугольная промышленность, химия, машиностроение, сельское хозяйство, железнодорожный транспорт и пр.

Материальным базисом комбината являются разнообразные природные богатства и неисчерпаемые энергетические ресурсы, имеющиеся в пределах этой территории.

Общий запас энергетических ресурсов УКК в виде каменного угля и торфа, приведенный к условному топливу, составляют уголь—$440 \cdot 10^9$ t, торф—$22 \cdot 10^9$ t. В отношении гидроресурсов ориентировочно возможная мощность гидроустановок определяется по всему УКК в количестве 16 000 MW.

В основу исчислений потребной мощности для удовлетворения нужд народного хозяйства УКК была положена производительность отдельных отраслей народного хозяйства и соответственно этой производительности и намеченному плану географического размещения этих отраслей намечена схема развития энергостроительства УКК.

Основная установка плана электрификации УКК в соответствии с установкой всего плана электрификации СССР сводится к созданию „единого электрического, теплового и силового хозяйства с единой высоковольтной сетью".

По ориентировочному перспективному плану электрификации УКК, разработанному Главэнерго, географическое размещение энергетических точек в пределах УКК представляется на конец второй пятилетки в следующем виде:

	Мощность в MW в 1932 г.	в 1937 г.
А. Уральская область:		
Конденсационные электростанции . .	508	1 722
Теплоэлектроцентрали	117	1 823
Гидростанции	—	172
Всего . .	625	3 717
Б. Башкирия		
Теплоэлектроцентрали	20	297
В. Казакстан		
Конденсационные	24	421
Теплоэлектроцентрали	8	49
Гидростанции	13	120
Всего . .	45	521
Г. Западная Сибирь		
Конденсационные	24	
Теплоэлектроцентрали	178	
Гидростанции	—	
Всего . .	202	
Д. Халилово	—	
Всего по УКК	892	6

Интересно проследить, каково состояние строительства УКК в настоящее время и как перспективы его на ближайший отрезок вре

На начало 1932 г. в постройке (новострой реконструкции) в пределах УКК находились дующие электрические станции: на Севе Урале—Кизеловская грэс и Березниковская на Среднем—Среднеуральская тэц и Егор ская грэс, на Южном—Челябинская I и II Магнитогорская станция.

Кизеловская грэс до конца 1930 г. была ственной районной электрической станцией верного Урала. Электростанция начата пост кой около десяти лет тому назад на основ плана Гоэлро. Оборудование этой станции новном состояло из двух турбогенераторов ностью по 3 750 kVA напряжением 8,25 kV ответствующим котельным и вспомогатель оборудованием. Первоначально генераторы р тали на шины 3,3 kV через понизительные тр форматоры 8,25/3,3 kV, а затем они были пр единены к шинам 6,6 kV, через автотрансфо торы 8,25/6,6 kV. В 1931 г. мощность ста путем введения в эксплоатацию двух турбог раторов по 11 MW была доведена до 28 MW

Березниковская теплоэлектроцентраль высок давления (60 at) построена для снабжения трической энергией и паром технологических Березниковского химического комбината. Ста имеет 3 турбины высокого давления (56 435° C) по 12,8 MW, 1 турбину тоже высок давления для обслуживания собственных нуж 3 конденсационных турбины мощностью по 12,8 при начальном давлении в 16 at и 360° C. Об мощность теплоэлектроцентрали, таким обра будет равна в итоге строительства 83,2 MW.

Помимо указанных двух районных электроф ций, на севере Урала имеется несколько фаб но-заводских блокстанций, обслуживающих нуж отдельных предприятий.

Общая мощность электрических станций, вк чая последние, на севере Урала в начале 193 была такова:

Кизеловская грэс	28 MW
Березниковскаа тэц	40 „
Березники ф.-зав.	8 „
Соликамская	4 „
Лысьвенская	7 „
Чусовские городки	4 „
Пермская станция (коммун.) Передана Энергоцентру	15 „
Всего	106 MW

Средний Урал. В начале 1932 г. в рай Среднего Урала не было ни одной находящей

[1]) В УКК входит также район Средневолжского края Халилово.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

эксплоатации районной станции; снабжался этот район в основном следующими местными блок-станциями:

Кушвинская	15 MW
Нижнетагильская	11 „
Нижнесалдинская	2 „
Богомоловского завода	25 „
Верхнесалдинская	15 „
Егоршинская	20 „
Калатинского куста	11 „
Свердловская городская	11 „
Всего	74 MW

Южный Урал. В конце 1930 г. в течение 1931 г. на юге Урала построены две электрические станции—Челябинская I и Магнитогорская. Челябинская I грэс спроектирована на общую мощность в 15 MW путем установки 6 турбогенераторов по 24 MW и 2 турбогенераторов по 3 MW (для собственных нужд) с соответствующим механическим оборудованием. На начало 1931 г. был введен в эксплоатацию 1 агрегат мощностью в 24 MW, в течение прошлого года были пущены еще два агрегата по 24 MW, и таким образом установленная мощность станции на начало 1932 г. составляла 72 MW.

Магнитогорская гэс начата постройкой одновременно с началом постройки металлургического комбината. Первоначальная проектная мощность составляла 248 MW. В настоящее время, в соответствии с изменившимися нагрузками, проектная мощность повышена до 348 MW, оборудование машинного зала ГЭС намечено в виде установки 2 конденсационных турбогенераторов по 12 MW, 1 конденсационного турбогенератора в 24 MW, 4 конденсационных турбогенераторов по 50 MW и 2 теплофикационных турбогенераторов по 50 MW. На начало 1932 г. введены в эксплоатацию 48 MW (2 турбогенератора по 12 MW и 1 турбогенератор в 24 MW). Вместе с работающими на юге Урала местными фабрично-заводскими станциями общая установленная здесь мощность на начало текущего года составляет:

Челябинская I ГРЭС (с собственными нуждами)	78 MW
Магнитогорская ГЭС	48 „
Златоустинская	12 „
Саткинская	3 „
Всего	156 MW

Всего по Уралу на начало текущего года находится в эксплоатации:

Северный Урал	106 MW
Средний Урал	74 „
Южный Урал	156 „
Всего	336 MW

Западная Сибирь. Западная Сибирь до настоящего времени представляет собой наиболее отсталый участок электрификации. Из строящихся здесь четырех мощных районных станций (Кузнецкой, Кеммеровской, Новосибирской правобережной и Новосибирской левобережной) на начало 1932 г. введен новый агрегат на Кузнецкой грэс мощностью 6 MW.

Таким образом к началу текущего года нужда Западной Сибири в электроэнергии удовлетворялась маломощными мелкими разрозненными станциями, и, в частности, электроснабжение всего Кузнецкого бассейна продолжает базироваться на следующих местных станциях:

Кеммеровская фабрично-заводская станция мощностью в	5 MW
Анжерская „ „ „ „	4 „
Ленинская „ „ „ „	4 „
Прокопьевская „ „ „ „	1,5 „
Кузгрэс новая мощность	6 „
Всего	20,5 MW

Еще менее благополучно в настоящее время положение с энергоснабжением Караганды и Башкирской АССР, где к основному энергостроительству только начинают приступать.

Таким образом, несмотря на большие успехи, достигнутые в деле энергостроительства УКК в течение прошлого года, продолжает иметь место значительное отставание потребности в электроэнергии предприятий УКК и возможностью эту потребность удовлетворить. Это отставание усугубляется еще более тем, что введенные в эксплоатацию в прошлом году новые мощности не могут быть надлежащим образом использованы вследствие запоздания в сооружении линий электропередач и подстанций, которое имело и продолжает иметь место в настоящее время.

Недостаточное внимание, которое до сего времени уделялось сооружению линий электропередач и подстанций, главным образом в части обеспечения их оборудованием и кабелем, привело к тому, что такие мощные станции, как Березники и Магнитогорская, не будучи включены вследствие этого в общую сеть, являются пока по существу не районными станциями, а блокстанциями, обслуживающими территориально ограниченный район.

На указанном выше отставании энергостроительства УКК от социалистической реконструкции остальных отраслей народного хозяйства, входящих в комбинат, необходимо сосредоточить внимание, и это обстоятельство в связи с широким развитием последнего приобретает особое значение. Только стопроцентное выполнение программы энергостроительства 1932 г. даст возможность несколько изжить то напряженное состояние с энергоснабжением УКК, которое характерно для начала этого года.

Уточненные Главэнерго контрольные цифры на 1932 г. по строительству районных электростанций предусматривают строительство следующих станций:

	1932 г. MW	1933 г. MW
Магнитогорская (расширение)	100	—
Челябинская I (окончание)	48	—
Березниковская (окончание)	45	—
Челябинская II	—	100
Закамская тэц № 1	—	25
Тагильская	—	25
Среднеуральская	—	150
Кизелгрэс (3-я очередь)	72	—
Егоршинская (окончание)	12	—
Кеммерово (1-я очередь)	24	50
Кузнецкая (1-я очередь)	48	—
Новосибирская правобережная (окончание)	6	—
Новосибирская левобережная	—	25
Карагандинская временная (окончание)	15	—
Карагандинская постоянная	—	25
Всего	37	400

Таким образом при выполнении целиком программы 1932 г. по сооружению районных элек-

Зоологическая областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

тростанций новая введенная в этом году мощность по всему УКК составит около 370 MW.

Согласно ориентировочным данным Энергоцентра потребная мощность для удовлетворения потребителей электроэнергии Урало-Кузнецкого комбината по районам на ближайший 1932 г. по тем же данным Энергоцентра составляет:

	1932 г.
Урал	625 MW
Западная Сибирь	202 „
Башкирия	20 „
Казакстан	45 „
Всего по УКК	892 MW

К концу 1931 г. установленная мощность в пределах УКК составляет ориентировочно около 360 MW. В течение текущего года будет введено новых мощностей на 370 MW. Общая мощность станций к концу 1932 г. составит около 730 MW.

Менее благоприятны перспективы 1933 г., когда вместо потребных 1370 MW будет в наличии только около 1000 MW. Эти, правда, грубо ориентировочные данные говорят о том, что даже при стопроцентном выполнении программы ввода новых мощностей в течение ближайших двух лет энергоснабжение УКК будет оставаться все же напряженным. Это напряжение может быть ослаблено, если будут приняты исключительные меры к своевременному сооружению линий передач и подстанций, этих основных элементов энергостроительства.

В текущем году необходимо выполнить следующую программу (минимальную) в части высоковольтного сетевого строительства.

А. По Уралу

1. Линии передачи

	Напряжение kV	Длина km
Березники-Губаха	110	85
Чусовая-Пермь	110	87
Чусовая-В. Тура	110	130
Тура-Красноуральск	110	20
Тура-Тагил	110	52
Тагил-Калата	110	65
Челябинск-Кыштым	110	81
Кыштым-Свердловск	110	138
Златоуст-Сатка	110	57

Кроме того, намечено производство изысканий 220 kV линии Трансурала на протяжении 550 km и построить ряд линий на напряжение 38 и 6 kV.

2. Понизительные подстанции.

	Напряжение kV	Мощность MVA
Чусовая	110/38/6,6	20
Пермская	110/38/6,6	25
Подстанция № 1	110/38/6.6	42
Красноуральская	110/38/6,6	40
Тагильская	110/38/6,6	25
Калатинская	110/38/6,6	35
Свердловская	110/38/6,6	42
Челябтракторстроя	110/11	10
Кыштымская	110/6,6	25
Раз'езд 127 а	110/6,6	12
Полевская	110/6,6	15

Б. Западная Сибирь

1. Линии электропередачи:

	Напряжение kV	Длина km
Анжерка-Кеммерово	110	102
Кеммерово-Ленинск	110	80
Ленинск-Белово	110	35
Белово-Прокопьевск	110	75
Прокопьевск-Кузнецк	110	35
Кузнецк-Мандыбаш	110	68

2. Понизительные подстанции

	Мощность MVA
Прокопьевская	20
Мандыбашская	11,2
Осиноватая	6
Анжерская	10
Ленинская	13,5
Беловская	10

Для освоения этой программы необходимо менить отношение к сетевому энергостроительству как к строительству второстепенного рядка. В интересах изжития разрывов в отдельных районах УКК между имеющимся на электростанциях и предположенными к вводу в ближайшее время мощностями необходимо электросетевое строительство, эту основную часть энергостроительства УКК, обеспечить минимальным необходимым оборудованием, кабелем, арматурой и принадлежностями. Между тем, ход работ по подстанциям Урала на начало второго квартала показывает значительное отставание монтажных работ, несмотря на сравнительное благополучие со строительными работами, колеблющееся от 1 до 45÷50%, а по линиям электропередач отсутствие проводов приостановило подавляющую часть производимых работ. Отставание монтажных работ—прямое следствие необеспеченности оборудованием, которое является наиболее узким местом, угрожающим затормозить выполнение намеченного плана.

Такая же приблизительно картина имеет место по линиям передач и подстанциям Сибири.

В отношении перспектив выполнения программы 1932 г. по сооружению электроцентралей вопрос в основном упирается в поставку оборудования и его комплектность. Своевременное комплектное поступление оборудования на строящиеся тепло и электроцентрали УКК и объединение последних в единое кольцо необходимы в интересах создания нормальной энергетической базы для предприятий УКК на ближайший отрезок времени.

Одной из характерных черт, входящих в создаваемый Урало-Кузнецкий комбинат отраслей промышленности, является значительный удельный вес электрометаллургии и электрохимии, которые помимо электроэнергии требуют значительных количества тепла на технологические цели, и поэтому сюда параллельно с электрификацией намечается здесь мощное развитие теплофикации. Из указанного выше перечня об'ектов энергостроительства видна основная установка на значительное развитие теплофикационных станций. При этом, однако, теплофикация ни в какой мере не противопоставляется электрификации; наоборот, теплофикация вместе с электрификацией развивает

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

в рамках единого энергетического хозяйства на базе единой высоковольтной сети.

Развитие теплофикационных станций УКК идет по тому же пути, по которому происходит развитие таковых по всему СССР. По СССР на 1937 г. теплофикационная мощность увеличивается в 10 раз, к этому времени около 11 000 MW установленной мощности будут вырабатывать комбинированную тепловую и электрическую энергию.

Правильное размещение и рациональная связь между сооружаемыми теплоэлектроцентралями, конденсационными электростанциями и гидростанциями, об'единенными единой высоковольтной сетью, являются основой дальнейшего развития энергостроительства УКК. Для решения задачи об'единения единой сетью всех сооружаемых электростанций напряжение в 110 kV недостаточно, необходимо повысить это напряжение до 220 и 380 kV. Основные затруднения, которые при этом возникают, заключаются, с одной стороны, в отсутствии достаточного опыта таких сооружений за границей и, с другой стороны, в наличии трудностей в освоении производства необходимой аппаратуры и преобразователей.

Намеченные ориентировочным планом работы по электрификации УКК во второй пятилетке как по станциям, так и по сетям должны быть освоены. Для энергостроительства УКК требуется громадная армия работников, которая может быть ориентировочно определена к началу 1937 г. в размере порядка 600 000 строительных рабочих и 300 000 монтажных рабочих, 17 000 инженеров и техников-строителей и около 12 000 ИТР монтажных.

К МАТЕРИАЛАМ ГЕНПЛАНА И ВТОРОЙ ПЯТИЛЕТКИ

Проблемы технической реконструкции электропромышленности во второй пятилетке [1])

М. Я. Лапиров-Скобло
ВЭО

Полный охват всех звеньев электрификации комплектным советским оборудованием и полное освобождение от иностранной зависимости—таковы важнейшие установки второй пятилетки в области энергооборудования.

Электропромышленность Союза, занимавшая еще в 1925 г. восьмое место в мире, вышла в 1931 г. на третье место. Об'ем производства электропромышленности вырос в 5 раз за последние 3 года, в 10 раз превысив довоенный уровень. Произошли важные сдвиги и во внутренней структуре электропромышленности. Повысился удельный вес машиностроения с 36,6% в 1925/26 г. до 42,3% в 1931 г. За последний год электропромышленность решительно повернулась к обслуживанию нужд ведущих отраслей народного хозяйства—угля, металлургии, машиностроения, транспорта и электростроительства. Электропромышленность не только значительно выросла количественно, но и одержала крупные победы на путях своей технической реконструкции [2]).

Несмотря на свои огромные, невиданные в капиталистическом мире темпы развития, электропромышленность продолжает оставаться „узким" местом и тормозом электростроительства и всего народного хозяйства, отставая от роста потребностей бурно развивающегося народного хозяйства. Общая потребность страны в электроизделиях будет удовлетворена в 1932 г. примерно на 50÷55%. Еще в меньшей степени будут удовлетворены потребности в электрооборудовании важнейших отраслей народного хозяйства: угольной промышленности, металлургии (крупные машины постоянного и переменного тока, крановые моторы), железнодорожного транспорта (тяговые двигатели, моторгенераторы, электровозы), энергетики (высоковольтные мощные трансформаторы, крупные масляные выключатели, голые медные и алюминиевые провода и т. п.).

По предварительным наметкам планово-экономического управления ВЭО [3]) динамика удовлетворения потребности страны намечается на второе пятилетие в следующем виде: (см. табл.)

Годы	Потребность млн. руб.	Выпуск ВЭО млн. руб.	Заводы вне ВЭО	Рост продукции ВЭО в % к предыдущему году	% удовлетворения потребности
1932	1 750	920	20	45	56
1933	2 800	1 603	37	59	56,5
1934	4 170	3 055	137	97	73
1935	5 600	5 360	165	80	94
1936	7 000	6 800	200	27	100
1937	8 500	8 250	250	20	100

Намеченные темпы предполагают достижение в течение примерно ближайших двух лет полной мощности существующих заводов, завершение их реконструкции и ввод в эксплоатацию целого ряда новых предприятий. Электропромышленность сильных токов к концу второго пятилетия превысит примерно в 100 раз свой довоенный уровень. Основными путями коренной технической реконструкции электропромышленности являются реконструкция основного капитала, специализация и кооперирование производства, ставка на массовое и стандартизированное производство, глубокое овладение наиболее высокой новейшей техникой. Если выпуск 1932 г. базируется полностью на существующих заводах, то в 1937 г. преобладающее значение приобретают новые заводы. В 1937 г. продукция новых заводов составит уже до 70% всего запроектированного выпуска электропромышленности.

Остановимся вкратце на крупнейших новостройках электропромышленности.

В текущем году пущена часть цехов Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ), запроектированного на полную мощность годового выпуска 2 300 MW турбогенераторов (50 MW и выше в единице) вместе с паровой частью. ХТГЗ начнет выпуск турбогенераторов в 1933 г., освоение полной мощности наступит в 1934 г., и ХТГЗ явится одним из крупнейших в мире заводов.

Следует отметить, что например GEC может иметь пропускную способность в 2 000 MW, американский Westinghouse—1 000 MW, BBC в Германии и Швейцарии—1 500 MW, Metropolitan-Vickers в Англии—1 000 MW и AEG в Германии—750 MW. В условиях всеобщего экономического кризиса капиталистического хозяйства эта мощность европейских и американских заводов в настоящее время используется в сильно сокращенных размерах на 50 и меньше процентов.

Харьковский турбогенераторный завод будет выпускать во второй пятилетке агрегаты мощностью до 220 MW в единице.

[1]) В порядке постановки вопроса.

[2]) См. М. Я. Лапиров-Скобло, Электропромышленность СССР на путях технической реконструкции; „Электричество", № 1, 1932, стр. 14—30. Его же, Советская электропромышленность на путях технического перевооружения, „Рапорт электропромышленности СССР XVII Всесоюзной конференции ВКП (б)", Москва 1932, стр. 25—66.

[3]) По материалам ПЭУ к докладу на Всесоюзной производственно-технической конференции ВЭО в мае 1932 г.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.boofree.ru

В Москве и Московской области будет построен ряд новых заводов сильноточной электропромышленности. Решено строить новый трансформаторный завод для производства силовых высоковольтных трансформаторов (от 3,2 MVA до технически возможных пределов) и напряжением от 35 до 220 kV и выше. Завод этот будет иметь годовую производственную мощность до 7 000 MVA; в то же время Электрозавод может дать максимальный выпуск мощных трансформаторов до 2 500 MVA в год.

Здесь же ВЭО решило строить аппаратный завод, один из величайших в мире, который будет производить масляные выключатели средних и больших мощностей на напряжения 220 kV и выше, разъединители и трансформаторы тока для напряжения от 35 kV и выше, моторные и соленоидные приводы, бетонные реакторы и реактивные катушки для напряжений от 3 kV и выше, разрядники от 10 kV, реле всех типов, распределительные щиты, аппараты автоматических электроустановок.

Строится целый ряд общих цехов для указанных групп заводов: 1) кожухной цех (производство баков для трансформаторов, масляников, ртутных выпрямителей); 2) центральный изоляционный завод для производства всех видов жидких лаков, компаундных масс, бакелитовых порошков, пропитанных тканей, картонов, слюдяных изделий и асбестовых плит; годовая программа строящегося в настоящее время завода около 200 млн. руб; пуск завода намечен в 1933 г.; освоение полной мощности в 1937 г.; 3) завод штампов и приспособлений для централизованного производства специального инструмента для всех заводов ВЭО и в первую очередь для заводов Электрогородка (штампы всех видов, приспособления, кондуктора, прессформы, разные головки, резцы, нормальные инструментальные детали и т. п.).

Принято решение о строительстве (в Москве) световакуумного комбината с заводами осветительных ламп, прожекторным, арматурным и трех вспомогательных цехов тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена, платинита, тантала), механизированного производства стекла и ламповых автоматов.

В связи, с одной стороны, со световакуумным комбинатом, а с другой — с аппаратным заводом будет построен новый завод ртутных выпрямителей.

Июньский пленум ЦК ВКП (б) (1931 г.) признал, что „ведущим звеном реконструкции железнодорожного транспорта в перспективе его развития является электрификация железных дорог".

Наметки второй пятилетки, как известно предусматривают электрификацию около 20 000 km железнодорожного пути, что составит 25% общей протяженности железнодорожной сети СССР. При этом будет значительно превзойден современный уровень электрификации железных дорог во всех капиталистических странах, где к началу 1931 г. было всего электрифицировано 19 400 km, или 1,5% всей железнодорожной сети мира. Для осуществления этого грандиозного плана электрификация транспорта Союза необходима соответствующая база электрооборудования и советского электровозостроения, от которого будут всецело зависеть темпы и масштабы работ по переводу железнодорожного транспорта на электрическую тягу.

В текущем году мы приступаем к постройке величайшего в мире электровозного завода в Кашире. Полная мощность завода 600 электровозов магистральных и 800 электровозов промышленных. Начало выпуска продукции в 1934 г.

Проектируемый завод по своей мощности, характеру и методам производства не имеет себе равных в мире. Крупнейший иностранный завод электровозов—в Ири (САСШ) выпускает не более 100 электровозов в год, к тому же различных типов.

В настоящее время производственной базой электрификации транспорта является завод „Динамо", который в 1932 г. должен выпустить 24 электровоза постоянного тока на 3 000 V. Завод „Динамо" при своем дальнейшем развитии достигнет выпуска 100 электровозов в год.

СТО 9 июня текущего года утвердил строительство в г. Свердловске электро-машиностроительной группы заводов, в составе:

а) турбогенераторного завода для комплектного производства турбин, генераторов и водоподготовительных частей, с выпуском 1 500 MW в год;

б) завода гидрогенераторов, крупных и средних машин (моторов для металлургии, угольного хозяйства и химии) с общим выпуском 3 000 MW;

в) аппаратного завода высоковольтной и низковольтной аппаратуры к генераторам и моторам, выпускаемым первыми двумя заводами, с производством на сумму 340 млн. руб.;

г) трансформаторного завода с выпуском на сумму 110 млн. руб.;

д) соответствующих обслуживающих цехов (литейного, струментального, кузнечного, изоляционного и обмотки меди).

СТО предложил НКТП приступить к строительству занной группы в 1932 г. с тем, чтобы вступили в действие машиностроительное и аппаратное производства к ко 1932 г. и турбогенераторное и трансформаторное в 19 Строительство группы включено в число ударных строек Широкое развитие получает и аккумуляторная промышленность. Кроме строящихся двух заводов щелоч и свинцовых аккумуляторов, намечается постройка во вто пятилетии не менее трех новых аккумуляторных заводов.

Выпуск главнейших изделий электропромышленности пятилетки 1932—1937 гг.

№	Наименование изделий	Единица измерения	1932 г.	1937 г.	Рост 19 в
1	Турбогенераторостроение	MW	834,7	4 080	
2	Гидрогенераторостроение	„	352,3	1 547	
3	Трансформаторостроение	MVA · 10^3	5 053	22 000	
4	Масляные выключатели	млн. руб.	37,7	269,6	
5	Аппаратура низковольтная (без тяговой)	„ „	34,9	526,7	
6	Голые медные, алюминиевые и сталеалюминиевые провода	t · 10^3	12,4	147,5	
7	Силовой кабель	km	6 000	59 460	
8	Моторы нормальные	MW	1 926	6 764	
9	Прокатные моторы и питающие агрегаты	„	120	504	
10	Врубовые моторы	„	11,0	77,0	
11	Мелкие специальные машины	млн. руб.	12,4	174,2	
	В том числе электроинструмент	тыс. штук	—	235	
12	Сварочные машины и аппараты	„ „	6 806	23 452	
13	Электропечи	„ „	491	3 212	
14	Электровозы магистральные	„ „	24	1 260	
15	Трамвайные моторы	шт.	1 200	7 000	
16	Автотракторное электрооборудование	млн. руб.	50,0	511,0	
17	Осветительные лампы	млн. шт.	41	400	
18	Нагревательные приборы	млн. руб.	2,0	55,6	

Как мы видели уже выше, во втором пятилетии произо значительные сдвиги в географическом размещении эле промышленности.

Произойдет заметный сдвиг электропромышленности восток, где в 1937 г. уже будет расположено не менее всей действующей мощности предприятий. В дальней еще более будет возрастать роль Урала, который ко превратиться в ведущий район социалистической элек промышленности, наилучшим образом обеспечивая элек энергетическим оборудованием вторую угольно-металлу ческую базу Союза на востоке.

Анализ технических сдвигов и вытекающих отсюда про научно-исследовательской работы мы произведем по т основным, теснейшим образом взаимосвязанным облас генерирование электрической энергии, передача и распр ление электрического тока, использование электричест разных областях.

I. Единая высоковольтная сеть

Одним из важнейших условий завершения единой со листической системы энергетического хозяйства является здание единой высоковольтной сети.

Проектировки второй пятилетки, включающие созд первых звеньев ЕВС, говорят о необходимости осуществ первых электропередач на напряжения порядка 380 kV. Д для современного уровня мировой техники и возможны

Всесоюзная государственная публичная библиотека
www.booksite.ru

мощий ее развития дает все основания рассчитывать на осуществление в СССР в самом ближайшем будущем электропередач при сверхвысоких напряжениях. Однако в этих областях нам придется решать задачи, превосходящие уровень европейской и американской техники.

К числу основных стержневых проблем, связанных с созданием ЕВС, необходимо отнести следующие:

1) род тока—постоянный или переменный, переход на напряжения переменного тока порядка 380 kV и выше;

2) создание генераторов, соответствующих требованиям сверхмощных электропередач (задачам концентрации больших мощностей на станциях и большим масштабам потребления), повышающих и понижающих трансформаторов;

3) создание соответствующей аппаратуры (выключатели, разрядники, разъединители, реакторы, регулирующие механизмы и т. п.;

4) специальные вопросы управления сложными системами (по принципу наибольшей автоматизации и централизации), и регулирования в отношении активных и реактивных мощностей, учета и контроля потоков энергии, ликвидации аварий, восстановления синхронизма, выпавших из равновесия систем, и т. п.);

5) Особое значение приобретают проблемы параллельной работы сложных сетей в целом, вопросы устойчивости работы систем, вопросы коротких замыканий и меры их ограничения, вопросы секционирования, методы заземления мощных систем;

6) Проблемы осуществления магистральных линий передач (воздушных и кабельных), вопросы их изоляции;

7) Проблемы надежной связи между станциями, подстанциями и т. д., а также защиты линий связи (телеграфных, телефонных, сигнализационных) от влияния сверхмощных линий электропередач и т. п.

Проблемы электрической изоляции являются решающими во всем комплексе стоящих перед нами задач.

Необходимо прежде всего уяснить себе, какими путями пойдет разрешение задачи сверхмощных передач энергии на особо далекие расстояния.

Обратимся прежде всего к системам передачи, к роду тока и напряжения.

Система Баума, несмотря на то, что она была предложена еще в 1921 г. не находила широкого технического применения, главным образом, в силу того, что с ее осуществлением связан целый ряд не вполне разрешенных вопросов. Проработка вопроса об электромагистралях переменного тока по системе Баума начата в Ленинградском электро-физическом институте под руководством академика А. А. Чернышева.

В настоящее время на страницах печати разрабатывается вопрос о применении к весьма длинным линиям электропередач системы передачи энергии „четвертью волны". Впервые передача энергии четвертью волны была предложена Штейнметцем. [1]) Пока не имеется ни одной осуществленной линии передач, работающей четвертью волны. Однако удобство регулирования напряжения подстанции по силе тока на центральной станции без необходимости применять большие мощности синхронных компенсаторов (как например, в системе Баума), а также высокий кпд, передачи начинают привлекать серьезное внимание электротехников. Обсуждался, например, вопрос о выгодности применения такой системы передачи энергии для длинных линий в Бразилии. Эта система передачи может дать особенно благоприятные результаты при применении кабелей. Эти проблемы требуют постановки соответствующих исследований в наших лабораториях.

Согласно только что законченным предварительным подсчетам проф. А. А. Вульфа система передачи энергии так называемой „полуволной" открывает возможность передавать устойчиво мощности порядка 2 000 MW по одной цепи трехфазного тока. Вопрос этот заслуживает самого глубокого внимания и дальнейшего изучения.

Целесообразное разрешение задач передачи очень больших мощностей на сверхдалекие расстояния может быть достигнуто при применении постоянного тока высокого напряжения для всех основных магистралей. Быстрое разрешение этой проблемы приобретает исключительное значение в условиях Советского союза. Необходимо всемерно форсировать научно-исследовательские работы, чтобы уже в самое ближайшее время сделать осуществимыми сверхмощные электропередачи на постоянном токе.

Преимущества применения постоянного тока получаются в самой линии передачи, затруднения же кроются в генераторном и преобразовательном устройствах.

Все до сих пор действующие передачи энергии постоянным током высокого напряжения осуществлены по системе инж. Тюри (Thury). Система Тюри была введена свыше 30 лет назад. В настоящее время по этой системе работает около 20 установок (в Швейцарии, Франции, Италии, Испании и Англии), среди которых одной из наиболее крупных является установка Montiers-Lyon во Франции, передающая энергию на расстоянии 448 km, из которых 78—подземным кабелем. Общая мощность установки в настоящее время составляет около 19 MW при напряжении 126 kV (первоначальное напряжение в 1906 г. было 56,8 kV); имеются сведения о решении в ближайшее время повысить напряжение этой установки до 250 kV. Все остальные установки, работающие по системе Тюри, имеют значительно меньше мощности и работают при значительно более низких напряжениях.

Преимущества передачи энергии постоянным током на большие расстояния вызвали к жизни в последнее время ряд больших проектов, однако до сих пор не осуществленных. Существует проект электропередачи Норвегия Дания-Германия. У Фиорда в Норвегии при использовании гидроэнергетических ресурсов возможно получить мощность порядка 1 250 MW. Проект предусматривает на центральной станции в Фиорде 32 турбины, каждая из которых приводит в действие агрегат из 4 генераторов по 10 MW на 3 210 V. Энергия будет передаваться в Геттеборг (120 MW), Копенгаген (120 MW) и Гамбург (880 MW). Переход через пролив Балтийского моря предположено осуществить при помощи кабеля. Другим крупным проектом передачи энергии по системе Тюри является проект гидростанции в Сан-Жозе (Аргентина), с использованием переменного напора воды (05 ÷ 2,25 m) с расходом от 90 до 150 000 m³/sec. Передача запроектирована до Буенос-Айреса (расстояние 1 100 km).

Система Тюри может служить, главным образом, для передачи энергии, но не для ее распределения. Громоздкость установки в сочетании с неудобствами последовательного (вместо парралельного) включения приемников и необходимостью трансформирования энергии при помощи машин очень невыгодно влияет на экономичность системы Тюри. Несомненно, что выработка мощных генераторов постоянного тока высокого напряжения явилась бы серьезным решающим фактором в деле распространения этой системы передачи.

Существующие до сих пор системы передачи энергии постоянным током не дают удовлетворительного решения в тех условиях и масштабах, в которых нам приходится решать эту задачу в Советском союзе.

Совершенно по-иному получает свое разрешение проблема сверхмощных электропередач постоянным током высокого напряжения при создании приборов и аппаратов, позволяющих получать постоянный ток высокого напряжения и большой мощности путем преобразования его из переменного и обратно—превращать постоянный ток в переменный.

В Англии, как известно, был изобретен преобразователь (так называемый трансвертер) трехфазного тока в постоянный ток высокого напряжения и обратно—постоянного тока в трехфазный. Трансвертер, как указывает само название, происходящее от комбинации двух слов—„transformer" и „rotary converter", совмещает в себе характеристики статистического трансформатора с характеристиками вращающихся преобразователей.

Трансвертер мощностью 2 000 kW был построен English Electric Co для преобразования переменного тока 6,6 kV, 50 пер/сек в постоянный ток на напряжение 100 kV, 20 A. К недостаткам трансвертера относятся сложность конструкции, большое число внутренних соединений, трудность коммутации, искрение на коллекторе.

В литературе появились сведения об усовершенствовании трансвертера путем применения коллекторов, помещенных в атмосфере водорода под давлением, а также о комбинировании с ионными устройствами. Несомненно, что идея, положенная в основу трансвертера, заслуживает внимания, и при дальнейшей разработке, особенно при комбинации с ионными устройствами, могут получиться серьезные практически важные результаты.

Исключительного значения перспективы в области преобразования постоянного тока в переменный и обратно открывают ионные и электронные приборы, над которыми сейчас лихорадочно работают в крупнейших ведущих лабораториях Европы и Америки.

Из ионных преобразователей в технике сильных токов до настоящего времени получили наибольшее распространение лишь ртутные выпрямители.

За последние годы техника очень далеко пошла вперед в отношении увеличения мощности ртутных выпрямителей, доходя до преобразования мощности порядка 10 MW в одном

[1]) Steinmetz, Transient Phenomena and Oscillations.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

цилиндре при напряжении 3 000 V; обычной уже является мощность в 3 MW.

В последнее время в иностранной литературе опубликован целый ряд работ [1]), схем опытов с выпрямителями с управляемыми сетками, которые открывают новые области в применении ртутных преобразователей и совершенно новые пути развития ряда важнейших отраслей электротехники.

Новые идеи, изобретения и предложения, над которыми мы должны сосредоточить свою работу, это следующие [2]):

1. Предупреждение обратных зажиганий. Обратные зажигания, приводящие к коротким замыканиям и отключениям сети, являлись важнейшим препятствием к созданию ртутных выпрямителей больших мощностей. В настоящее время предложено предупреждение обратных зажиганий опережающим потенциалом на сетке, позволяющим применять вторую не управляемую и более сильную деионизирующую сетку [3]). Возникающее при обратном зажигании короткое замыкание может быть тотчас прервано без выпадения главного масляника с помощью помещенных перед анодом решеток, которые при обратном зажигании заряжаются положительно.

Фирма BBC начала применять с большим успехом управляемую сетку для защиты анодов в ртутных выпрямителях большого напряжения. GEC применила это усовершенствование на ртутных выпрямителях на 3 000 W, 3 MV.

2. Сетки на ртутном выпрямителе могут заменять максимальные автоматы на стороне постоянного тока (но не быстродействующие обратного тока) и масляный выключатель, при этом защита выпрямителя производится им самим, и вся установка приобретает еще большую простоту и дешевизну. Фирма BBC выпустила такие ртутные установки.

3. При помощи сеток может быть достигнуто регулирование напряжения выпрямленного тока.

4. Ртутные преобразователи с сетками могут быть применены для преобразования переменного тока одной частоты в переменный ток другой, более низкой частоты.

В январском (1931 г.) номере „BBC-Mitteilungen“ приведены основные схемы преобразователей тока в 50 пер/сек в ток 16 2/3 пер/сек для питания однофазных железных дорог.

Если питать такие преобразователи от источника постоянного тока, приключенного отрицательным полюсом к катоду и положительным полюсом к нейтрали шестифазного трансформатора, фазы которого приключены к анодам преобразователя, то при перемене потенциала сеток при помощи соответствующего коммутатора можно пропускать токи через отдельные фазы вышеуказанного трансформатора таким образом, что в первичной обмотке этого трансформатора будет индуктироваться трехфазная электродвижущая сила, и все устройство будет давать трехфазный ток.

Все эти опыты получены при напряжениях, исчисляемых тысячами вольт. В случае достижения вышеуказанных преобразований при очень высоких напряжениях с помощью преобразователей, содержащих ртутные катоды, этим могут быть разрешены все важнейшие вопросы высоковольтной техники постоянного тока.

5. Новые типы машинных агрегатов, состоящих из ртутных преобразователей и специальных упрощенных двигателей, питаемых по выбору постоянным или переменным током. Эти агрегаты могут со временем заменить все виды тяговых двигателей и ряд специальных машин, например, сложнейшие электроприводы блюмингов.

Фирма BBC в Бадене демонстрировала опытные агрегаты этого вида и изготовила электровоз по этому принципу. Эта область применения ртутных преобразователей сулит произвести крупный переворот в электропромышленности.

Интересно отметить результаты предварительных исследований стеклянного ртутного выпрямителя с сеткой для бесколлекторного двигателя, произведенных в световакуумтехническом отделе ВЭИ. Было исследовано несколько сеток различной конструкции с различными размерами отверстий и из различных материалов. Запирающее действие сетки изменяется с изменением напряжения на анодах, нагрузки и температуры окружающего воздуха. Заметное влияние последнего фактора имеет место только в области низких нагрузок, до 15[illegible]. Ртутные выпрямители были рассчитаны на максимальный грузочный ток в 20 А и напряжение на анодах в 600 V, равляющее сеточное напряжение приблизительно +70 V.

6. Возможность применения такого преобразователей для выключения больших мощностей при очень высоких напряжениях. Фирма BBC применила ртутный выпрямитель с сеткой анодов в качестве выключателя постоянного тока при напряжении 1 500 V. Такой выключатель прерывал короткое кание в течение 0,0015—0,002 сек., т. е. в промежуток времени примерно в 10 раз меньший того, который достигается с помощью самых лучших механических выключателей с масляным или воздушным выдуванием дуги.

Необходимо отметить, что в настоящее время смыкается диапазон напряжений в выпрямителях стеклянных, применяемых, главным образом, в радиотехнике, и в выпрямителях металлических.

На радиостанции Рашков (158 kW в антенне) близ Варшавы поставлены металлические ртутные выпрямители на 20 kV.

Интересные результаты может дать ртутноструйный выпрямитель Hartmann в сочетании с ионным прибором.

Обратимся теперь к другим типам ионных преобразователей. Проф. Митзуда (Япония) предложил [1]) устройство, названное им „ртутным инвентарем“, где ток вместо сетки управляется вращающимся диском. При опытах было получено преобразование постоянного тока в переменный при напряжении 440 V и мощности 7 kW. Надежность аппарата Мицуды с вращающимся в вакууме ротором и диском вызывает сомнение; кроме того, при высоком напряжении диск едва ли может без повреждения самого себя запереть дугу.

Другим типом преобразователя является радиотрон. Радиотрон содержит оксидный катод и анод, расположенные друг против друга в стеклянной колбе, в которую помещается очень небольшое количество ртути, испаряющейся во время пускового периода (длительностью в несколько минут), в течение которого анодное напряжение должно существовать. При напряжениях порядка 20—40 kV радиотроны строятся на десятки ампер.

Особенно большие надежды в области преобразования постоянного тока в переменный возлагаются на новый тип преобразователя, предложенного д-ром Hull и названного тиратроном. Тиратрон собственно представляет собой радиотрон, снабженный сеткой для контроля прохождения тока между катодом и анодом электростатическим путем.

Опытная установка мощности в 750 kW при напряжении в 15 kV выпущенная GEC, в работе оказалась надежной.

Особенно следует еще отметить предложенный [illegible] А. А. Чернышевым и инж. М. М. Ситниковым преобразователь, основанный на управлении ионизацией магнитным полем (удлинение среднего свободного пробега электронов). Этот преобразователь дает полное и безусловное управление. Однако слабым его местом являются большое падение напряжения и крайняя чувствительность к вакууму. Необходимо в результате исследовательской работы преодолеть эти техни[illegible]ческие трудности.

Обращаясь к огромной важности проблеме разработки [illegible] образователей тока, нельзя не отметить возможное комплексированное разрешение всей проблемы в целом путем одновременного соучастия техники электромагнитной, трансформаторной и ионных процессов.

Таким образом мы видим, что в важнейшей области [illegible] образователей тока перед нами стоит огромный комплекс научно-исследовательских проблем исключительного значения. Сюда относятся [illegible] работка и конструирование преобразователей с жидким катодом—ртутных выпрямителей на высокое напряжение, непрерывное их совершенствование и развитие конструкций в сторону повышения надежности как самого выпрямителя так и вспомогательных устройств, повышение мощности, номинальной силы тока, повышение напряжений до десятков тысяч вольт. В 1931 г. фирма BBC выпустила ртутный выпрямитель в 25 kV и говорит о выпрямителе в 30 kV. Можно определенно утверждать, что во второй пятилетке мы сумеем осуществить выпрямители до 50 kV при силе тока порядка 300 А.

Необходимо глубоко освоить физическую сторону вопроса управления сетками при большой силе тока и больших напряжениях (вопрос надежности, разработки однофазных типов для питания специальных машин, разработки схем управления сетками). Необходимо разработать схемы и принципы [illegible]

[1]) Доклады II Международной энергетической конференции, т. I, стр. 317—348. „Brown-Boveri Mitteilungen“, № 10 1930 г., № 7 1931 г., № 1 1932 г. Schenkel u. Issendorf, „Siemens-ZS“, № 3 1931 г., стр. 142-146; Sabbah, „General Electric Review,“ 1931 г.; Bull. „Schweiz. Ing. El.“ 1931 г., X—XI.

[2]) См. подробнее в статье Лапирова-Скобло в т. VI „Генплана электрификации“, 1932, стр. 61-131.

[3]) Труды II Межд. Энергет. Конференции (Берлин), т. II, стр. 248—261.

[1]) См. Труды II Международной энергетической конференции, т. [illegible] стр. 261—268.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

образования переменного тока в постоянный и преобразования частоты, разработать конструкции ртутных выпрямителей для установок на электровозах. Далее, необходимы разработка и конструирование преобразователей с твердым накаленным катодом, разработки и изучение управления преобразователей при помощи магнитного поля, изучение поведения электрической плазмы в ртутных парах (пространственных зарядов) в зависимости от разных условий в применении к вопросу о преобразовании тока в связи с управлением тока и явлениями обратного зажигания в ртутных выпрямителях, разработка и конструирование ионно-механического преобразователя и др.

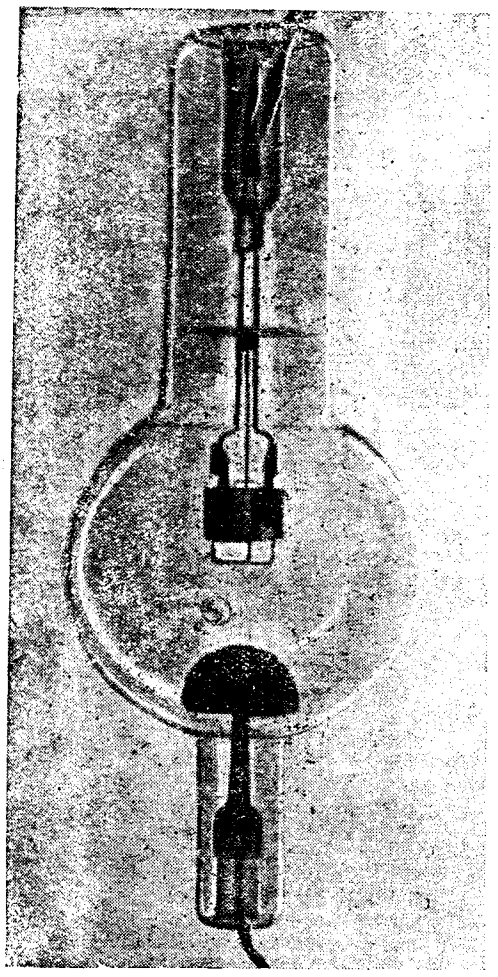


Рис. 1. Газотрон производства завода „Светлана".

Все эти работы требуют кооперированного сотрудничества соответствующих наших институтов—ВЭИ, Электрофизического в Ленинграде, лабораторий при втузах—ЛЭТИ, ЛЭМИ и др.—и заводских лабораторий, ближайшим образом заводов „Электросила", Харьковского электромеханического (ХЭМЗ) и „Светланы".

Фирма GEC полагает, что можно построить тиратрон мощностью порядка 10 MW в одной единице и напряжением до 100 kV.

Возвращаясь к вопросу о передаче энергии огромных мощностей на особо далекие расстояния, мы должны подчеркнуть, что трудности, стоящие на пути применения постоянного тока, еще очень значительны, однако они должны быть преодолены нами в пределах второй пятилетки.

В то же время мы должны уделить исключительное внимание проблемам повышения напряжения в сетях трехфазного тока.

II. Электромашиностроение

Мощность отдельных единиц за последние пять лет примерно утроилась, а для некоторых частот возросла и в четыре раза. В 1931 г. мощность турбогенераторов с одним валом при той же частоте и том же числе оборотов составила 160 MW при 16,5 kV (cos φ = 0,8) [1]. GEC построила для электростанции State-Line трехвальную турбину в 208 MW.

Меньшие мощности выполнены в быстроходных машинах. В САСШ до 18 MW при 60 пер/сек и 3000 об/мин.

В Европе SSW в Мюльгайме построил для Бельгии турбогенератор мощностью 80 MVA на 10,5 kV при cos φ = 1 и 3 000 об/мин. Агрегат одновальной с трех-корпусной турбиной (одна высокого давления, две—параллельно включенные части низкого давления с расходом пара 3,9 kg/kWA.

В названном генераторе особого интереса заслуживает ротор, конструкция которого, максимально упрощенная чрезвычайно облегчает задачу металлургии, давая возможность выполнения роторной поковки из 3 частей (средней и концов) в генераторах на 3 000 об/мин и разрешает проблему вентиляции ротора при возрастающей длине машины [1]. Общий вес собранного ротора—около 42 t; вес меди ротора 5 900 kg, каппа немагнитная.

Вентиляция ротора осуществляется с наружной его поверхности (вентиляция статора с многократным впуском воздуха в зазор). Охлаждение же лобовых частей роторной обмотки происходит продуванием под каппу. Вентиляция статора, как уже упоминалось, аксиально-радиальная.

Для нормальной серии двухполюсных турбогенераторов завода „Электросила" возможность выполнения роторной поковки из 3 частей имеет большое значение, так как роторные поковки мощностью 24 MW не могут быть в настоящее время изготовлены на союзных заводах в одном куске; выполнение поковками для роторов на 12 MW, изготовление которых уже реально разрешимо. С момента же возможности изготовления роторной поковки 24 MW в одном куске разрешится вопрос изготовления роторной поковки 50 MW, 3 000 об/мин из 3 частей. Таким образом это дает нам возможность иметь поковки союзного производства для турбогенераторов мощностью на 1 ступень выше.

Общий вес вышеуказанного генератора SSW составляет около 172 t. Коэфициент полезного действия равен 0,975, небольшим удлинением активной части генератора можно поднять его мощность до 100 MVA. Таким образом проблему построения генератора в 100 MVA при 3 000 об/мин можно считать практически разрешенной даже с медной обмоткой ротора. BBC построила машину в 45 MVA на 3 000 об/мин с cos φ = 0,8; удельный вес машины—2,5 kg/kVA. Во Франции имеются установки, мощностью каждая 50 MW, 3 000 об/мин.

Достигаемые предельные мощности зависят прежде всего от конструкции ротора и от прочности материала. Только планомерным сотрудничеством металлургов и электротехников обеспечены достижения последних лет. Применение сварки, усовершенствование роторных поковок, усовершенствование обмоток, улучшение вентиляции и применение немагнитных материалов высокого качества обеспечили в основном возможность строительства крупных генераторов. Сварка уменьшила в крупных турбогенераторах расход металла на единицу мощности примерно вдвое.

Особо важной задачей при построении таких больших машин является надежное отведение теплоты потерь.

С ростом мощности растут и затруднения, связанные с отведением тепла. Особенно велики эти затруднения в двухполюсных турбогенераторах рекордной мощности (порядка 100 MW и выше). Перед нами теперь стоит задача строить машины мощностью 100 MW при 3 000 об/мин. Западно-европейский опыт в этой области сконцентрирован у единичных фирм. Нам необходимо поставить работы по изучению и выбору системы вентиляции, по распределению воздушных потоков и ряд более мелких вопросов вентиляции. Необходимо разработать вопрос о применении для вентиляции различных газов, в частности водорода, которое начинает получать в иностранной технике все большее и большее распространение.

Применением водорода удалось в Америке поднять мощность синхронных машин на 20% и одновременно уменьшить потери. Охлаждение при помощи водорода не только уменьшает потери и увеличивает отдачу, но также удлиняет срок службы изоляции, уменьшает шумы в обмотках и опасность пожара обмоток [2].

Одним из существеннейших факторов, лимитирующих дальнейший прогресс электромашиностроения, в особенности крупнейших высоковольтных машин, является качество изолирующих материалов. С увеличением мощности необходимо переходить к повышенному напряжению, ибо иначе наступают трудности в конструкции аппаратов, и сечения провода становятся слишком велики. В настоящее время имеется тенденция строить высоковольтные генераторы (порядка 33 kV и

[1]) См. Труды II Международной энергетической конференции, т. XII, стр. 49–50. M. A. Savage „Economic Developments in Turbin in the United States.

[1]) Иванов Н. П. Новое в вентиляции турбогенераторов, „Электричество" № 7, 1932, стр. 40.

[2]) См. также „Eletrical World", 1931, вып. 5, стр. 408–409.

Российская государственная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

выше), работающие непосредственно на распределительную сеть [1]. BBC и SSW строят теперь машины на 36 kV.

Эти напряжения предполагают особо тщательное исполнение изоляции, основанное на тщательно проведенных опытах.

Для разрешения вопросов, связанных с построением высоковольтных машин, главным образом, синхронных генераторов, необходимо вести дальнейшую научно-исследовательскую работу над получением теплостойкой высоковольтной изоляции и над методами изолировки высоковольтных секций. С этим связаны вопросы распределения напряжения в пазу машины, выбор рациональной формы паза и градации изоляции [2].

Для понижения силы токов короткого замыкания САСШ исполнили ряд машин с двумя независимыми обмотками. Двухобмоточные генераторы позволяют секционировать шины станции, но в то же время применение двухобмоточных генераторов уменьшает гибкость работы станций.

Двухобмоточные генераторы должны найти широкое применение в единой высоковольтной сети с ее крупными станциями, и *необходимо форсировать разработку их конструкции и производство на наших заводах.*

Огромный интерес представляют появившиеся машины, в конструктивном выполнении которых разделены активная и безваттная мощности [3]. Машины выполнены двухэтажными. Активная мощность—в основной машине; наверху же распо-

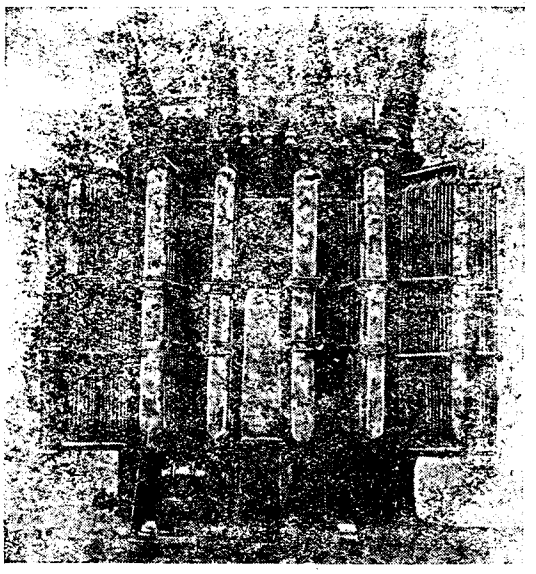


Рис. 2. Трансформатор на 115 kV, 15 MVA производства „Электрозавода"

ложена вторая машина, дающая безваттную мощность. Такие машины выполнены мощностью в агрегате до 375 MW без водородного охлаждения.

Проблема быстроходных машин упирается в повышение механической прочности ротора, а также и уменьшение механического напряжения в его теле, зубцах, клапах и клиньях.

Повышение сопротивления материала поковки ротора на разрыв требует очень высокого развития металлургии страны. Новыми являются попытки заводов применить алюминиевую обмотку ротора. Удельный вес алюминия меньше, и уменьшаются напряжения в зубцах и клапах от центробежной силы обмотки. Над этим вопросом необходимо поработать с целью установления технологического процесса изготовления таких обмоток.

Гидрогенераторы [4]. В этих машинах ограничение мощности также определяется механическими напряжениями от центробежных сил в роторе.

Наибольшие до сих пор исполненные мощности следующие: 35 MVA при 75 об/мин; 40 MVA при 300; 45 при 187; 40 при 138; 65 при 107 и 77,5 MVA при 88,2 об/мин.

Данные мировой техники говорят о том, что вышеуказанные мощности не являются предельными; взгляды относительно предельных мощностей отчасти расходятся (см об подробно Труды II мировой энергетической конфере т. XII). Необходимо отметить, что в отношении гидроге торов действительно выполненные мощности в одной ед в ряде случаев лежат ниже предельных из-за транспор затруднений.

„Электросила" строит в настоящее время три кру гидрогенератора, мощностью каждый в 62 MW (77,5 при 88 об/мин для Днепростроя. Эти гидрогенераторы, рые по своей величине являются в настоящее время ре ными, дадут большой опыт для дальнейшего раз гидрогенераторостроения в Советском союзе.

Во второй пятилетке мы должны добиться сильного шения коэфициента мощности (cos φ) наших сетей, явл гося одним из важнейших показателей рационализации трохозяйства. С этой точки зрения необходимо обратить мание на применение статических конденсато и синхронных конденсаторов.

В заключение данного раздела считаем необходимым тить чрезвычайно интересные работы машинного отдел (научный руководитель—акад К. И. Шенфер) по созд бесколлекторного тягового мотора однофазного нормальной индустриальной частоты 50 пер/сек на напр ние 162 V, мощностью в 208 kW (часовая—280 kW), cos φ = 0.88 он дает к. п. д. равный 0,88. Отметим еще боты акад. Л. И. Мандельштама и проф. Н. Д. Папалекси нелинейным системам (где закон Ома не имеет дейст которые в частности открывают возможности возбуж электрических машин путем механического изменения метров. При успешном развитии этих работ они могу крыть важные перспективы.

III. Трансформаторостроение

Наибольшие по мощности трансформаторы, которые до пор построены за границей, это—трехфазный трансформ на 100 MVA, 220/110 kV в Германии и однофазные тр форматоры 3 × 302 MVA в САСШ. Что касается напряже то технически освоенным является напряжение 220 kV [5]. Электрозавод изготовляет трансформаторы до 20 MV напряжением в 115 kV.

Трансформаторы на 400 kV нигде в мире еще не пос ены. Факторы, ограничивающие мощно крупных трансформаторов,—это трансп ные затруднения, надежность при ко ком замыкании, вопросы охлаждения и ляции.

Как указано выше, в Германии недавно построили сил трехфазный трансформатор, мощностью в 100 MVA, напря нием 220 kV, весом около 200 t. Для 110 kV строят тр форматоры мощностью до 250 MVA [6]. Транспортные труднения устранены специальным способом перевозки, котором трансформатор не погружается на платформу, а в составе поезда в подвешенном состоянии, вследствие высота железнодорожных габаритов используется почти ностью.

Акад. А. А. Чернышев (Ленинградский электрофизиче институт) выдвинул идею каскадной системы транс маторов. Вместо одного однофазного трансформатора имеет уже группу из трех трансформаторов—двух выс вольтных и одного изолирующего. При такой сис мощность отдельной группы может быть очень значите повышена без того, чтобы встретились специальные зат нения в смысле транспорта трансформатора в собран виде [4].

Комиссия ВЭИ пришла к заключению, что решение бу по всей вероятности, лежать не в устройстве каскада, применении системы трех однофазных трансформаторов.

Научно-технический совет электропромышленности, обс вопрос, пришел к заключению, что в пределах второй пя летки для напряжения 380 kV решение проблемы транс маторостроения представляется в виде конструкции т однофазных (пятисердечниковых) трансформаторов [5], кажд мощностью до 75 kVA.

---

[1]) См., например, статью Parsons в „AIEE", 1930.
[2]) См. о клиновидном пазе в „Siemens-ZS". Последний номер за 1931 г.
[3]) „El. Journal", 1932.
[4]) Niethammer Grenzleistungen im Elektromaschinenbau. Newbery, a. Smith, Economic Limits to the Rating of Larg Water; Weel Driven Generators; Kloss. Bau von Grossgeneratoren u. Transformatoren u. anderen elektrischen Maschinen. (Труды международной энергетической конференции, т. XII, стр. 31-41, 60—72, 356—365).

[1]) См. „ZS. f. Physik", 1931.
[2]) См. также книгу: Biermanns u. Mayr „Hochspannungsforschung u. Hochspannungpraxis". Berlin 1931.
[3]) См. „E u M", 1931, № 49.
[4]) О каскаде см. доклад проф. А. А. Чернышева, Единая высоковольтная сеть, Труды ноябрьской сессии Всесоюзной академии на 25—30 ноября 1931 г., стр. 86—88.
[5]) Ср. в книге, изданной Biermanns u. Mayr. „Hochspannungsforschung u. Hochspannungpraxis", статью Kochling'a, стр. 66.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Во всяком случае предложение проф. Чернышева заслуживает самого серьезного внимания и экспериментальной проработки.

Основные задачи электропромышленности в 1932 и 1933 гг., наряду с количественным ростом выпуска до полного удовлетворения потребности страны, овладеть производством высоковольтных (на 22 kV) и высокомощных трансформаторов. Наши лаборатории и должны провести необходимую большую работу по подготовке производства сверхмощных трансформаторов с полным переходом на советские материалы.

В то же время необходимо поставить и в ВЭИ и в Ленинградском электрофизическом институте с обязательным привлечением трансформаторных заводов, разрешение вопроса о способах трансформации в применении к сети на напряжение в 380 kV. В эту работу научно-исследовательские институты должны включаться немедленно.

Мощность трансформаторов в больших установках обычно может быть значительно повышена при помощи добавочного охлаждения, создаваемого продуванием воздуха через кожуха, окружающие радиаторные трубы, причем в большинстве случаев вентиляционные устройства приходят в действие автоматически, когда температура в трансформаторах превышает некоторую определенную величину.

Непрерывно растет число и суммарная установленная мощность трансформаторов с воздушным дутьем. Суммарная мощность таких трансформаторов, составлявшая в 1924 г. лишь 30 MVA, в настоящее время достигла приблизительно 4000 MVA при мощности отдельных траосформаторов от 5 до 60 MVA.

Всякие нарушения изоляции в витках трансформатора сопровождаются, как известно, выходом его из эксплоатации. GEC приняла для защиты трансформаторов от перенапряжения предложенное инж. Палуевым устройство так называемых нерезонирующих обмоток (нерезонирующий трансформатор).

Система нерезонирующих трансформаторов проверяется ВЭИ. Опыты показали хорошие результаты. ВЭИ совместно с Электрозаводом необходимо вести дальнейшую разработку системы защиты. Необходимо скорейшее доведение до конца работы по типу защиты, предложенному проф. Чернышевым [1]).

Очень широкое распространение получило применение трансформаторов с переменным коэфициентом трансформации, причем это изменение может быть произведено при полной нагрузке трансформатора. Такого рода трансформаторы строятся как фирмой GEC, так и Westinghouse и дают вполне надежную работу ври эксплоатации. Изменение коэфициента трансформации может быть произведено как вручную, так и при помощи автоматических приспособлений. В САСШ наблюдается сильный рост трансформаторов с регулировкой напряжения под нагрузкой.

Остановимся на технических сдвигах и проблемах в области измерительных трансформаторов. Для высоких напряжений трансформаторы выпускаются каскадного типа. Трансформаторы эти (стоячие, подвесные) составляются (набираются) из стандартных единиц, рассчитанных каждая на меньшую величину напряжения. Так, например, из трех отдельных единиц, каждая на напряжение в 35—40 kV, можно составить каскадный трансформатор на 115 kV, а затем при необходимости добавить еще 3—4 элемента и получить трансформатор порядка 220 kV. Такой каскад представляет очень большие удобства. Подобные трансформаторы в различных модификациях выпускают фирмы Кох и Штерцель, SSW, BBC и др.

Большого внимания заслуживает подвесной каскадный трансформатор, очень удобный для установки на подстанциях. Из трансформаторов напряжения для приключения в установках с незаземленной нейтралью большое распространение получает пятистержневой трансформатор напряжения. Для установок с заземленной нейтралью и напряжений ниже 100 kV фирмы SSW и Кох и Штерцель усиленно развивают сухой трансформатор напряжения с высоковольтной обмоткой, изолированной фарфором от низковольтной.

Трансформаторы тока строятся также каскадными из отдельных составляющих единиц напряжения порядка 35—40 kV.

Из других заслуживающих серьезного внимания тенденций отметим еще трансформатор тока с поперечным отверстием в фарфоре (Querlochwandler)—горшковый, проходной, каскадный. Горшковые и проходные трансформаторы с поперечным отверстием строятся приблизительно до 40 kV рабочего напряжения, а каскадные—до 110 kV. В таких трансформаторах изолирующее масло заменено заполнением песком, смешанным с графитом; такое устройство дало крайне равномерное электрическое поле внутри фарфора, ослабило в нем электрическое напряжение и обусловило создание при малых габаритах хорошо работающих в эксплоатационных условиях приборов.

Необходимо еще особо отметить выпущенные фирмой Siemens-Halske так называемые опорные трансформаторы (Stützerwandler), у которых обе катушки находятся внутри опорного изолятора с масляным заполнением. Таким путем сокращается количество отдельных элементов на установке.

Отметим попутно одни из самых последних новинок, это—так называемые измерительные агрегаты, сочетающие в одном механизме измерение как напряжения, так и тока.

Все эти трансформаторы как тока, так и напряжения заслуживают самого серьезно[illegible] с нашей стороны.

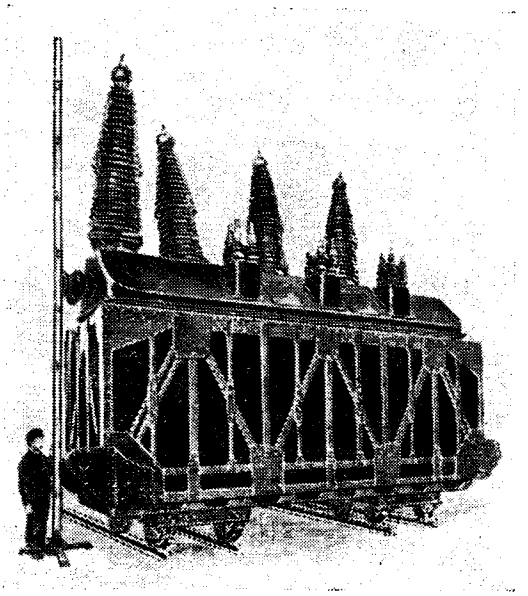


Рис. 3. Трансформатор (фирмы AEC) на 220 kV, 60 MVA

IV. Высоковольтная аппаратура и распределительные устройства

Обратимся прежде всего к выключателям тока и в первую очередь к масляным выключателям.

Завод „Электроаппарат" в течение текущего года должен освоить производство масляных выключателей для напряжения 115 kV с разрывной мощностью порядка 2500 MVA. Технически разработаны масляные выключатели для напряжения 220 kVA с разрывной мощностью 2 500 MVA. В 1932 г. будут выпущены первые масляные выключатели генераторные для напряжения 11 kV, разрывной мощностью около 2 000 MVA.

В 1932 г. будут изготовлены масляные выключатели горшкового типа для генераторов напряжения 11 kV, разрывной мощностью около 1 000 MVA.

В настоящее время заканчивается разработка основных параметров масляного выключателя для напряжения 380 kV, разрывной мощностью порядка 4 000 MVA. Эти выключатели являются мировой новинкой и до введения в эксплоатацию потребуют еще большой научно-исследовательской работы.

В настоящее время существующие масляные выключатели, повидимому, подходят к возможным пределам в отношении разрывной мощности. Необходимо указать, например, на масляные выключатели, изготовленные фирмой Westinghouse для Public Service Co. of New Jersey с разрывной мощностью, лежащей в пределах 2 500—3 000 MVA при напряжении 220 kV при рабочем токе до 600 A. Чрезвычайно высокая изоляция, примененная на высоковольтной линии, заставила усилить изоляцию как самого масляного выключателя, так и выводных проходных втулок конденсаторного типа. Размеры масляного выключателя для трех фаз с выводами следующие: высота 7,6 m, ширина 3,3 m и длина 13,8 m. Количество масла, идущего для наполнения одной группы для трех фаз, составляет 100 000 l. Масляные выключатели для напряжения

[1]) См. „Travaux de la Conference Internationale des grands Reseaux Electriques", 1931.

Российская государственная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

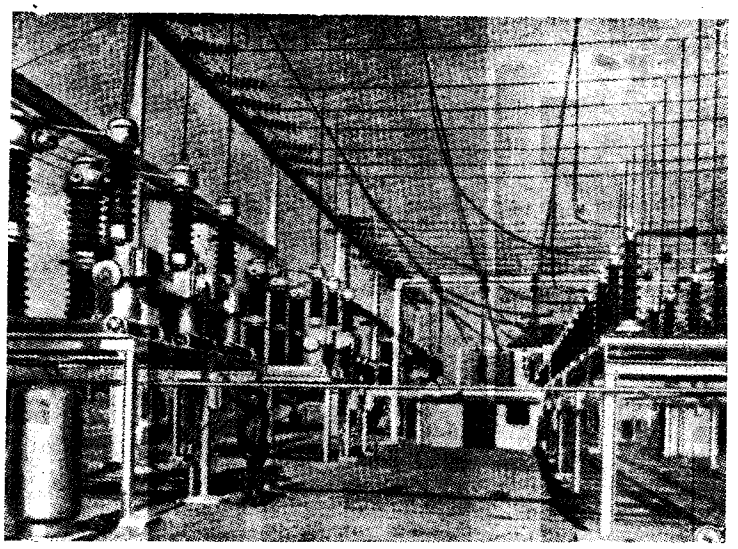


Рис. 4. Установка выключателей расширительного типа (Expansionsschalter) на 100 kV.

380 kV фирмы Metropolitan-Vickers занимают в длину 18 m, в ширину 4,5 m и в высоту 12 m.

Все это указывает, что в области создания выключающих устройств для высоких напряжений и больших мощностей приходится искать новых путей. Америка применяет масло как среду для разрыва силовой цепи. Европа же идет по новым путям создания безмасляного разрыва, применяя сжатый газ для выдувания образующейся в момент замыкания дуги. Пользуются деионизирующим дугу устройством в виде ряда металлических прослоек, помещенных в масле, причем дуга при помощи магнитного поля загоняется в эти промежутки. Ведутся работы по размыканию дуги в вакууме и т. д. Совершенно понятно, что выключение мощностей, измеряемых в моменты короткого замыкания тысячами мегавольтампер представляет очень большие трудности.

Большое внимание в Америке в настоящее время уделяется новому типу выключателей, так называемому воздушному выключателю—деионному, разработанному д-ром Слепяном на заводах Westinghouse. При размерах того же порядка, что и масляные выключатели, на ту же мощность, деионные не требуют для изоляции масла и потому не содержат огнеопасного материала.

Деионизация в воздушном выключателе может быть также достигнута путем вдувания струи воздуха под давлением в дугу, так как при этом происходит интенсивное охлаждение дуги и ее деионизация. При осевом дутье получается более энергичная ионизация. Бирманс [1]) (AEG) предложил конструкцию такого выключателя со сжатым газом (сжатый воздух, углекислый газ и т. п.).

Д-р Кессерлинг [2]) предложил конструкцию выключателя с водою—Expansionschalter выключатель, так называемого расширительного типа. При выключении дуга получается между водой и электродом с поршнем. При испарении воды и быстром расширении ее паров последние конденсируются вокруг электронов в виде мельчайших капелек, и мешая их подвижности, способствуют деионизации дуги и ее быстрому гашению.

SSW предлагает выключатель с сопротивлением, так называемый x-выключатель, в котором сопротивлением служит жидкость особого состава, названная фирмой „x". Подобное же решение предлагают и французские техники, применяя в качестве сопротивления твердые составы, которые видимо близки к карборунду.

Особый интерес представляет новый тип выключателя—в вакууме. Разрыв силовой дуги происходит в вакууме. Основными трудностями на пути осуществления является создание и поддержание определенной степени вакуума порядка $10^{-4} \div 10^{-6}$ mm.

На ближайшую пятилетку прежде всего необходимо дальнейшее совершенствование масляных выключателей.

Наши работы должны вестись в направлении изучения теории дуги и теории разряда в газах и в вакууме; изыскания новых методов гашения дуги, выключения и предупреждения повторных зажиганий и использования этих методов как на типах выключателей масляных, так и безмасл Критическому разбору следует подвергнуть предложе недавно д-ром Слепяном в Американском институте неров-электриков теорию дуги.

Необходимо отметить, что в отношении использов масла в выключателях за последние годы произошли серьезные сдвиги: появление сначала гасильных камер, камер с масляным выдуванием (с использованием кине ской энергии сжатого масляного газа), выключателей с гократным разрывом в процессе гашения длины дуги и онных масляных выключателей (д-ра Слепяна).

GEC применила принцип масляного выдувания как вым сериям выключателей, так и к существовавшей масляников для значительного увеличения их разры мощности [1]).

В существующие наши типы выключателей для их „ом жения" надо ввести ряд новейших усовершенствований, например, камер с масляным дутьем (oil-blast) в подстанц ных масляниках на напряжении до 220 kV. Следует т ввести, например, деионные решетки в масляники ВМ-2 35 kV (что очень значительно увеличит запас их мощн а также в масляники ВМ-22 и др.

В план исследовательских и конструкторских работ за „Электроаппарат" включена проработка как вышеуказа вопросов в области масляников, так и деионных выключ лей и выключателей расширительного типа (Expansionschal По безмасляным выключателям ведутся и будут вестись боты не только на заводе „Электроаппарат", но и в Е По мере выявления результатов будут построены и и таны промышленные образцы. Работы по выключателя сжатым газом ведутся успешно в ВЭИ. Создан пер опытный лабораторный тип однофазного выключателя сжатым воздухом на 11 kV.

AEG в настоящее время уже построила однофазный ключатель со сжатым газом на 100 kV, 600 A. Агрег из трех таких однофазных выключателей можно разоп свободно трехфазную мощность в 1 500 MVA. Разрыв происходит здесь в течение $^1/_4$ периода, в то время в масляных выключателях от 1 периода и больше.

В последние годы в САСШ начали входить в употребл распределительные устройства, в которых изолирующим ществом между отдельными частями их являются не возду изоляторы, как это имеет место в обычной практике, а циальные компаунды или масло, причем все части вм с изоляцией заключены в металлические кожуха и мета ческие соединительные части (metal-cladueqipment).

Исключительное значение приобретают проблемы щиты от перенапряжений, но основное решение эт вопроса придется, видимо, искать по линии так называем координации изоляции, т. е. умышленного ос бления изоляции в неответственных местах сети с цел направления сюда возникающей при перенапряжениях вол и предохранения таким образом остальных более силь элементов системы от аварий и повреждений. Необходи очень большая работа и в области создания различных п боров защиты от перенапряжения.

В первую очередь следует отметить приборы, построен на принципе изменяемости сопротивления в зависимости повышения напряжения. Такие приборы в настоящее вр выпускаются под различными наименованиями (с соответ вующим использованием различных специфических матер лов) как европейскими, так и американскими фирмами. На вем пустотные (катодные) разрядники (SS GEC), оцелитовые разрядники (AEG), изготовл мые также нашим заводом „Электроаппарат", тайрито (тиритовые —Thyrit) разрядники (GEC), намеченные к про

Рис. 5. Сравнение места, необходимого для установки Expansionsschalt (a) и масляного выключателя (b и c); разр. мощн. 200 MVA.

[1]) Biermanns u. Mayr, Hochspannungsforschung u. Hochspannungpraxis, Berlin, 1931, стр. 275—288.

[2]) Kesserling, „ETZ" 193[1], H. 14.

[1]) См. „General Elektric Review", 1932, № 1.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

водству на Московском аппаратном заводе, аутовеле Westinghouse) и др.

Вакуумный разрядник является весьма совершенным, и для его производства требуется сравнительно недорогое оборудование.

Обширный комплекс задач стоит перед нами в области реле, которые пред'являются требованиями точной автоматизации включения и выключения. Большие достижения в этом отношении имеются за границей. Назовем, например, один из последних типов реле дистанционных, название которого „молчаливый часовой" характеризует его работу и ее качество.

Заслуживает глубокого внимания у нас такая упрощенная система защиты, как предохранитель, основанный на действии тепла дуги на фибру, в которую включена плавкая вставка, обладающая свойством под действием этого тепла разлагаться, образуя газ, который и выдувает дугу. Американцы строят подобные предохранители на разрывные мощности до 300 MVA при 110 kV. Разрыв происходит в полупериод рабочего тока.

Об огромной важности задач—автоматизации управления, особенно в условиях нашего социалистического хозяйства, мы упоминали уже выше.

Автоматика дает очень значительные сокращения обслуживающего персонала; четкость и точность работы установок возрастают, освобождая от зависимости и от возможных ошибок обслуживающего персонала. При укрупнении системы, создании межрайонных связей, при постройке сверхмагистралей, при широкой электрификации транспорта, и, наконец, при создании единой высоковольтной сети, вопросы автоматизации управления, централизованного управления электрическими установками и системами организаций диспетчерской службы, вопросы дистанционного управления, дальнонаблюдения, дальноуправления и дальноизмерения должны занять одно из виднейших мест в нашей научно-исследовательской работе. В последнее время все большее распространение получает автоматизация управления электросетями; так, например, в САСШ находились в эксплоатации в 1929 г. работающие совершенно автоматически гидравлические электростанции (примерно на 700 MW), синхронные преобразователи свыше 1 000 MW, трансформаторные установки примерно на 700 MVA, моторогенераторы—свыше 350 MW, установки с ртутными выпрямителями — около 175 MW, синхронные конденсаторы—около 180 kVA, около 9 000 устройств для дальноуправления и дальнонаблюдения, около 400 дальноизмерительных установок и т. п.

Автоматизация гидростанций применяется в настоящее время[1]) как для малых, так и для крупных установок. Усовершенствование автоматических гидростанций привело к тому, что в Европе и Америке стремятся строить станции почти исключительно с автоматическим управлением. Наибольшая гидростанция с автоматическим управлением из построенных до настоящего времени—это станция Lousville Hydro-El. Company в Америке, оборудованная 10 гидрогенераторами общей мощностью 125 MVA.

Автоматизация, которую можно применить к установке любой мощности (как присоединенной к какой-либо электрической системе, так и изолированной от нее) дает возможность электрификации различных участков и в мало доступных районах, позволяет использовать полный поток, сокращает потери в передаче энергии, действует быстрее и увереннее, чем это возможно при ручном управлении, сокращает стоимость эксплоатации и первоначальные затраты, допускает сооружение простых и экономичных станций (отдельные единицы можно располагать в самых удобных с точки зрения наилучшей работы пунктах), дает возможность автоматического управления на расстоянии (телеуправление).

Устройство электрических железных дорог наиболее рационально при автоматических тяговых подстанциях. Преимущества автоматических тяговых подстанций заключаются в уменьшении расхода меди на фидеры (подстанция может быть установлена в наиболее выгодном для сети месте), уменьшении расходов на обслуживание, а также первоначальных затрат, так как не требуется сооружать жилые помещения для обслуживающего персонала. Автоматические тяговые подстанции сейчас исполняются и для подземных сооружений (шахты).

В местах, наиболее удобных для целей регулирования работы линии передачи, сооружаются подстанции с синхронными конденсаторами. Автоматизация их заключается в автоматическом пуске, остановке и регулировании работы синхронного конденсатора. В этом случае преимущества автоматизации заключаются в том, что конденсатор работает тогда, когда это требуется по условиям регулирования линии, а подстанцию можно установить в наиболее выгодном для сети месте.

Для управления коммутационными процессами на расстоянии наиболее широко применяются устройства с синхронным селектором. Дежурный диспетчер может включать и выключать выпрямители, пускать для автоматической работы или запирать фидера постоянного тока, пускать и останавливать электродвигатели вентиляторов и включать и выключать последовательные участковые выключатели. Посредством дистанционного управления может быть пущен для автоматической работы или выключен любой выпрямитель. Последние американские данные говорят, что из конторы дежурного диспетчера можно управлять 89 подстанциями с 24 синхронными преобразователями, 99 выпрямителями, 202 вентиляторами и 817 автоматически включающимися фидерами и участковыми выключателями. Чтобы помочь надлежащему распределению по всех фидерах, на диспетчерском щите над выключателями управления помещена полная мнемоническая схема. Для работы дистанционного управления коммутационными процессами употребляется система передачи показаний измерительных приборов на расстоянии, работающая выпрямленным током.

New York Central R R. Company установила на своей подстанции Wakefield автоматическое распределительное устройство для управления ртутными выпрямителями на 3 000 kW.

Автоматическое регулирование играет исключительную роль в электрических силовых установках. Сюда относится автоматическое регулирование мощности, напряжения, тока, $\cos\varphi$, частоты в станциях и подстанциях (без такой регулировки немыслима параллельная работа крупных районных станций). Автоматическая регулировка в фабрично-заводских установках—мощности, напряжения, скорости, специальных условий—повышает надежность работы станков, производительность их, повышает использование наличных агрегатов, качество продукции. В некоторых установках (многомоторный привод) работа немыслима без автоматического регулирования.

Наличие аппаратуры автоматического пуска моторов и автоматического регулирования делает возможным осуществление сложнейших схем автоматического управления моторными устройствами—пуск, реверс, торможение, регулирование оборотов, комбинация агрегатов (Леонард, Кремер и др.), взаимная связь отдельных функций—прокатные станы, доменные и шахтные под'емники, приводы бумажных машин, типографских, нефтяных устройств и пр. Такая автоматизация повышает надежность установки, увеличивает производительность станов, улучшает качество изделий.

Назовем еще автоматические котельные.

Весьма часто устраивают теперь автоматические установки с управлением ими на расстоянии. Команда для включения или отключения машины дается с какого-либо центрального пункта. Возможны также регулировка мощности и других элементов на расстоянии. Станция или подстанция, как мы уже указали выше, работает автоматически.

Сигнализация в автоматических станциях и подстанциях весьма проста. У нас в СССР необходимо уделить серьезнейшее внимание работам по автоматизации.

Следует усилить работу по научному исследованию имеющихся типов аппаратов селективной защиты сетей, аппаратов контроля и учета режимов работы сетей и установить пути, наиболее соответствующие требованиям эксплоатации единой высоковольтной сети. Специальной разработке должны быть подвергнуты вопросы быстрой и автоматической синхронизации систем.

Особое внимание необходимо обратить на применение новейших видов связи, на применение аппаратов для передачи изображения, телевидения и телеизмерительных устройств.

V. Кабели и провода

Последнее десятилетие характеризуется все возрастающим расширением применения подземного кабеля в передаче и распределении электрической энергии.

Кабели с полой жилой, наполненной маслом, на напряжение в 132 kV появились за границей для трехфазных передач с 1923 г. В настоящее время наибольшая мощность, передаваемая по трехфазному фидеру на линейное напряжение в 132 kV, равно 275 MW. В Германии и САСШ ведутся работы по изготовлению кабелей на напряжение 220 kV. Проектируются

[1]) См. Труды II Международной энергетической конференции, т. XIII, доклады Petersen, Schleicher, Reznicek, Cippitelli, Eichtenberg, Kiessling, Cook и др.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

кабельные высоковольтные кольца вокруг Берлина на 110 kV (к 1940 г.), вокруг Лондона 66 kV, во Франции предположена прокладка кабеля на 150 kV.

Завод „Севкабель" в 1931 г. одержал решающую победу на этом фронте техники, выпустив сначала маслом наполненный кабель 120 kV, а в конце 1931 г. опытный конец кабеля на 220 kV. Пользуясь Свирской установкой, мы должны на практике изучить свойства этих кабелей в период более или менее длительной работы. Актуальнейшей задачей наших научных институтов и кабельных заводов является разработка надежных конструкций подземных кабелей для напряжения 380 ÷ 400 kV.

Важно отметить исследования, произведенные за границей над влиянием увеличения давления окружающей среды на возрастание прочности на пробой изолирующего слоя силовых кабелей. Эти исследования дают основание полагать, что возможно повысить примерно в три раза прочность обычных силовых кабелей, значительно увеличить надежность работы изолирующего слоя. Это позволит значительно снизить стоимость кабельных высоковольтных линий (считая на единицу передаваемой мощности), чем усиливается преимущество высоковольтного подземного кабеля по отношению к воздушной линии.

Интересные перспективы открывает применение алюминиевой проволоки, покрытой специальной оксидной пленкой взамен обмоточной меди, при этом получается весьма теплостойкая и надежная изоляция при незначительной толщине слоя (об оксидной изоляции см. ниже).

VI. Электрификация промышленности

Вторая пятилетка характеризуется широчайшей электрификацией промышленности. Вопросы электрификации промышленности требуют специального глубокого и подробного рассмотрения [1]).

Новый этап в техническом развитии электрификации производства характеризуется широким и глубоким развитием электропривода, ведущим в конечном этапе к электропроизводственной машине. Здесь же мы остановимся только на проникновении электричества непосредственно в технологические процессы получения металлов,—на проблемах электрометаллургии.

В связи с произведением генерального плана электрификации народного хозяйства большие перспективы открываются перед применением электричества в электротермических и электрохимических процессах.

Выплавка электростали по отдельным странам в последний предкризисный 1929 г. выражается следующим образом:

САСШ . . .	около 1 000 000 t	10%	общего	производства	стали
Италия . .	200 000 „	2%	„	„	„
Франция . .	154 000 „	1,5%	„	„	„
Германия . .	150 000 „	1%	„	„	„
Канада . .	57 000 „	5,7%	„	„	„
СССР . . .	45 000 „	1%	„	„	„
Англия . .	62 000 „				
Швеция . .	85 000 „				
Япония . .	82 000 „				

Италия, не имеющая каменного угля и относительно богатая гидроресурсами, пошла по пути широкого введения металлургических процессов.

По отдельным сортам стали получается такая картина: например, по фасонному литью электросталь составляет 80% всего стального литья в Италии, до 40%—в САСШ, свыше 50%—в Канаде. Что касается инструментальной стали, то 90% ее выплавляется в САСШ в электропечах. Нержавеющие, хромистые стали, марганцевые стали в САСШ, Франции, Англии, Бельгии получаются исключительно в электропечах.

Выпуск электростали на ближайшее пятилетие намечается у нас приблизительно в следующих цифрах: в 1932 г.—80 000 t (около 1% от всего количества стали) и в 1937 г.—до 1 000 000 t, что составляет около 4,5% от всей стали, выплавляемой в СССР. Следовательно, намечаются темпы роста, невиданные в капиталистических странах.

Технические сдвиги в электротермических производствах СССР во второй пятилетке в основном представляются в следующем виде. Развитие электроплавки стали потребует, во-первых, соответствующего развития дуговых сталеплавильных печей в направлении увеличения средней установленной емкости и удельной мощности печи, увеличения производительности, простоты и надежности работы, автоматизации управления, уменьшения расхода энергии и электродов на 1 t стали.

Максимальная емкость печей, которые мы должны строить в Союзе в ближайшую пятилетку, видимо, определяется порядка 30 t при мощности порядка 10 MW. Должны быть спроектированы установки на 60 ÷ 100 ÷ 120 t, но пока они будут носить индивидуальный характер

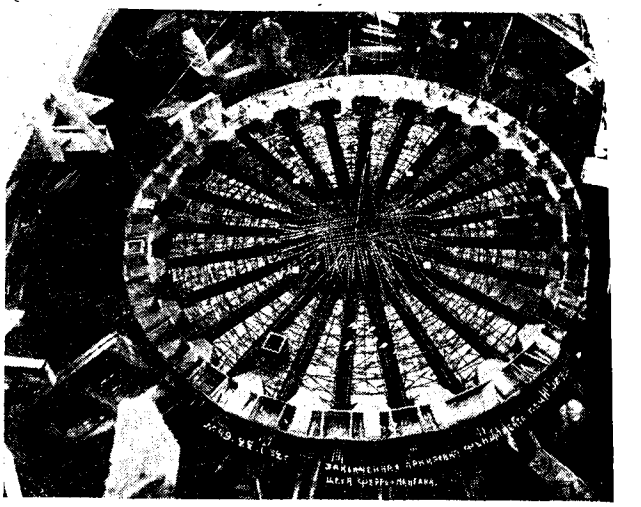


Рис. 6. Монтаж фундамента печи Мигэ мощностью в 10.000 kV на заводе ферросплавов Запорожстали

Остановимся несколько подробнее на вопросе о мощности электропечей для карбида кальция и ферросплавов. Карбид кальций и ферросплавы занимают в электротермии первое место в мире по установленной мощности. Для ферросплавной промышленности в настоящее время применяются две системы электрических печей: трехфазные—системы Р. Гельфенштейна и однофазные—типа Мигэ.

В настоящее время уже работают (Канада, Германия) электрические трехфазные печи для карбида кальция мощностью порядка 22 MW. Мощности печей, построенных в последние годы, колеблются в пределах 10 ÷ 22 MW.

Развитию больших электрических печей способствовало введение в практику самоспекающихся электродов Зодерберга (в настоящее время ими оборудованы более 100 печей в мире), механизация загрузки и большие достижения в конструировании тоководящего устройства от трансформатора к печи. Без механизации загрузки невозможно было строить современные большие электропечи. Так, например, для нормальной работы современной большой электропечи для карбида кальция требуется подать в сутки 20 вагонов с исходными материалами. Подать такое количество материалов вручную оказалось бы невозможным, если учесть огромные количества тепла, выделяемого подобными электропечами.

Что касается токоподводящих устройств, то в настоящее время для трехфазных печей уже разработаны конструкции для силы токов порядка 60 000 А.

До сих пор не удалось добиться механизации загрузки трехфазных печей. Печи эти—открытого типа, разработка конструкции закрытой трехфазной печи пока не увенчалась успехом. Большие успехи достигнуты в однофазных печах Мигэ. Трансформатор расположен под печью. При этом пространство вокруг печи совершенно свободно, а подвод тока короток и строго симметричен относительно корпуса печи. Все это дает возможность экономично передавать от трансформатора к печи токи порядка 300 000 А.

Как известно, основные трудности на пути подвода тока это—явление „скинэффекта" и самоиндукция проводников, подводящих ток от трансформаторов к печи.

В печах Мигэ перекрытие трансформаторного помещения служит фундаментом печи. Такое расположение трансформатора вызывает необходимость значительно углублять фундаменты под печи Мигэ. В последнее время разработаны специальные конструкции трансформаторов (например, фирмы „Савойазен"—Франция—на 15 MVA для карбидного завода в Италии) для печей Мигэ, дающие возможность уменьшить эти заглубления.

Электрические печи для ферросилиция работают с напряжением порядка 60 ÷ 100 V на фазе. Средняя мощность печей европейских и американских заводов порядка 6 MW.

Заводы, хорошо владеющие процессом выплавки ферросили-

[1]) См. доклад Рубинштейна на Всесоюзной конференции по генплану электрификации.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ки в печах средней мощности, строят печи мощностью порядка 10,5 MVA. Что касается ферромангана, то практика существующих заводов дает основание для установки печей мощностью порядка 10 MVA. В варианте проекта завода ферросплавов на Днепре, предусматривавшем применение трехфазных печей, были приняты печи мощностью порядка 10,5 MVA.

Печи Мигэ, впоследствии Мигэ-Перона, являются печами с авторогенной загрузкой: материалы загружаются слоями, причем хорошо проводящие материалы (главная загрузка) распределены равномерно по всему пространству между электродами и стенками ванны, а слои, менее проводящие, расположены против электрода и образуют добавку. Подобная загрузка имеет своей целью избежать местных перегревов и связанного с ними улетучивания и диссоциации готового продукта.

Вышеуказанная конструкция подвода тока обусловливает более высокий коэфициент мощности для печей Мигэ-Перона, чем в печах соответствующей мощности Геру-Гельфенштейна.

Печи Мигэ (как и Мигэ-Перона, где кожух печи использован в качестве проводника тока от трансформатора к электроду) получили большое распространение в последнее время. В настоящее время эти печи установлены в САСШ (Niagara), Франции, Италии, Бельгии, Португалии, Японии. Всего в перечисленных странах установлены 22 печи на общую мощность в 125 MW.

В СССР устанавливаются на Запорожстали для ферросплавов 9 печей по 10 MW, на Алюминстрое для алюмината бария—3 печи по 10 MW, на Цемстрое для глиноземистого цемента—2 печи по 10 MW. Следовательно, всего 14 печей на общую мощность в 140 MW. Таким образом СССР в течение одного года догонит и перегонит капиталистический мир по установленной мощности печей Мигэ-Перона. Союз будет обладать наиболее мощными в мире агрегатами по ферросплавам и глиноземистому цементу,—по производствам, которые еще год—два тому назад у нас отсутствовали.

Введение у нас дуплекс-процесса (мартен-электропечь) для качественной стали требует установки 15 ÷ 30 t печей. Развитие производства карбида кальция за последние годы в мировом масштабе характеризуется следующими цифрами:

1913 г.	375 000 t
1925 г.	1 000 000 „
1926 г.	1 035 000 „
1927 г.	555 900 „
1928 г.	608 000 „
1929 г.	649 600 „
1930 г.	650 100 „

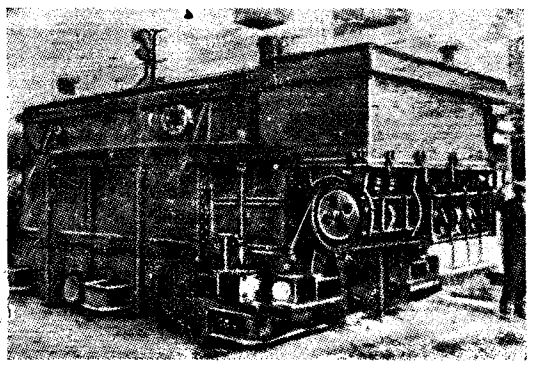
Эти данные свидетельствуют о широком применении карбида кальция. Достижение столь крупных количеств продукции стало возможно исключительно после перехода от малых печей порядка 2 ÷ 3 MVA к большим печам порядка 20 ÷ 30 MVA. Этот переход к большим мощностям повел за собой не только значительное снижение расхода на рабочую силу, но еще и уменьшение удельного расхода энергии. Действительно, по данным различных авторов можно это уменьшение проследить по прилагаемой таблице:

Автор	Мощность печи MVA	Удельный расход энергии kVh/t
А. Гельфенштейн	3	4 000
„Красный автоген"	1	4 000
Шумберг	4	4 000
	5	3 600 ÷ 3 400
Мигэ	6	3 300 ÷ 3 350
Ф. Каро	9	3 300 ÷ 3 400
Хорцов	19,5	3 000 ÷ 3 100
По Даннелю установка в Кнапзаке	30	3 000 ÷ 2 900
(„ZS. f El"., 1930, стр. 474) . . .		

Анализируя установку в Кнапзаке (Германия) для карбида кальция, где применено симметричное расположение трансформаторов электродов, что исключает мертвую фазу и потерю на ней выхода карбида (как это имеет место при несимметричном расположении электродов в плане печи прямоугольного сечения), проф. М. С. Максименко в своем докладе в НТСЭ электропромышленности говорит: „Обладая симметрией, эта печная установка не имеет недостатка системы Мигэ, заключающегося в расположении трансформатора под печью и в чрезвычайно сложной короткой сети вторичного тока, вместе с тем эта система печи позволяет иметь большую плотность тока в электроде, большую глубину зоны реакции под уровнем шихты, а значит и большое давление окиси углерода. Все эти соображения ставят трехфазную печь в несравнимые с однофазными печами благоприятные условия эксплоатации. Если к этому добавить почти полно проведенную механизацию подачи шихты и откатки карбида, то преимущество трехфазной печи станет очевидным".

Вопрос о системе печи должен быть срочно разработан нашими институтами с привлечением соответствующих заводов.

Электротермическая секция Научно-технического совета электро-промышленности, обсуждавшая вопрос о сравнительных данных одно-и трехфазных электропечей для восстановительных процессов с общей точки зрения народного хозяйства СССР (по докладу проф. Максименко) признала безусловно необходимым, чтобы ВЭО было организовано производство мощных печей для рудных процессов уже в 1933 г. Признано необходимым ввести стандарт (унификацию) печей для рудных процессов. Предельной мощностью, на которую следует рассчитывать производство и установку печей для рудных процессов в СССР, считать 25 MVA в трехфазном агрегате и 16 MVA—в однофазном агрегате.



Фиг. 7. Трансформатор (фирмы „Савойен"—Франция) для печи Мигэ в 15 MVA

Видное место для выплавки качественной стали заняла в последнее время индукционная печь без железного сердечника высокой и повышенной частоты (до 500 пер/сек), основной выгодой которой является скорость плавки, повышенная производительность и отсутствие угара металла. Печам этого типа, несомненно, предстоит громадное будущее. В этих печах очень легко можно получать мягкую сталь с ничтожным содержанием углерода, трансформаторное железо, нержавеющее листовое железо и т. п.

Печи эти особенно важны для плавки в вакууме таких особых сплавов, как хромовые сплавы для сопротивлений и т. д. Во всех процессах нешлаковые индукционные печи вытеснят дуговые.

Громадное развитие получили в САСШ для плавки цветных металлов и сплавов индукционные печи нормальной частоты (50 пер/сек) с железным сердечником и кольцевым рабочим пространством, заполненным цветным металлом.

Индукционные печи без железного сердечника имеют пока максимальную емкость в 3 t (в Швеции на пушечном заводе Bofors будет пущена печь в 3 t производства SSW и Electrical Furnaces Co, Англия), главная же масса промышленных печей имеет емкость всего только в 1 t. Технических затруднений в проектировании индукционных печей емкостью до 20 ÷ 25 t нет. Следует стремиться к отказу от генераторов высокой частоты, перейдя для печей, особенно емкостью свыше 3 t, к питанию током нормальной частоты.

Высокие частоты получат большое значение для специальных задач химии, для быстрых концентрированных нагревов, для перегонки тугоплавких металлов.

Термическая обработка металлов в электропечах должна получить у нас большой размах. В автотракторной промышленности, автопромышленности, машиностроении, инструментальном хозяйстве, обработке черных и цветных металлов, военной промышленности—во всех этих областях электротермообработка, с ее точностью регулировки и контроля процессов и легкостью обслуживания, несомненно, должна сыграть крупную роль. Эти печи в зависимости от характера процесса производства и своего назначения крайне разнообраз-

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ны по типу и конструкции, и варьируют по своей мощности до порядка 10 MW. В этой области необходима стандартизация и типизация и на их основе развитие массового производства.

К этой же группе печей должны быть отнесены термические промышленные печи (сушильные, эмалировочные, для хлебопечения и т. д.).

Установка и эксплоатация электропечей требует специального электрооборудования, соответствующего данному технологическому процессу и выбранному типу печи. Кроме нормального стандартного электрооборудования потребуются еще специальные печные трансформаторы тока—трехфазные и однофазные, дроссельные катушки, приборы автоматической регулировки электродов, специальные трансформаторы тока, переключатели обмоток печного трансформатора (специальные под нагрузкой), приборы автоматической регулировки температуры, статические конденсаторы (в высокочастотных печах), генераторы высокой частоты, трансформаторы частоты, автотрансформаторы, измерительные приборы и т. д. Особое внимание должно быть уделено специальным проблемам производства электродов, графитированных, угольных и специальной электродной массы, нихрома, жароупорной стали, специальных металлических сопротивлений, нагревательных печей, специальной керамики и т. д.

Все это требует большой совместной работы электротехников и металлургов [1]) и скорейшего наиболее широкого критического освоения данных иностранной техники.

Важнейшими научно-техническими проблемами на ближайший период являются проблемы огнеупорных материалов и керамики и проблема электродов (в 1937 г. потребуется около 4 000 t графитовых электродов и около 16 000 t угольных).

VII. Электросварка

Вторая пятилетка будет периодом бурного развития электросварки. Электросварка на ближайший отрезок времени явится основным способом выполнения неразъемных соединений металлических частей и важнейшим технологическим процессом, вытесняющим во многих областях литье, клепку, газовую и горновую сварку. Но рост электросварки будет не только количественным, запросы производства настоятельно требуют технического совершенствования методов электросварки, глубоких технических сдвигов в этой области. До сих пор мы пользуемся в электросварке методами, предложенными 30 — 40 лет назад, и нужно признать, что технический прогресс процессов электросварки шел весьма медленно. Главные технические сдвиги намечаются на ближайший период по следующим линиям.

В области дуговой сварки первоочередной задачей ближайших лет является ее механизация и защита неплавленного металла от воздействия воздуха. В особенности большой интерес представляет разработка полуавтоматов и автоматов тракторного типа, самостоятельно передвигающихся по шву.

Работа по защите от воздействия воздуха идет по различным направлениям: применение специальных обмазок электродов, специальный состав металла электродов (например, присадка никеля) и, наиболее обещающий метод—сварка в атмосфере защитного газа (способы Лэнгмюра, Александера, „Аркоген"), в некоторых случаях представляющая об'единение (с использованием преимуществ каждого) процессов электрической и газовой сварки.

Крупной проблемой является вопрос увеличения производительности дуговой сварки путем увеличения применяемых мощностей и диаметров электродов. Чрезвычайно важна проблема металлических электродов, требования к которым возрастут в связи с широким применением специальных и легированных сталей. Требует глубокого изучения самый процесс дуговой сварки и в особенности свойства дуги между металлическими электродами при различных условиях.

Необходимо обоснованное решение вопроса о роде тока и источниках тока для дуговой сварки. Центральное место должна занять проблема сварки переменным током нормальной частоты, весьма удобным для использования. Необходима проработка методов сварки угольными, графитными, а также специальными электродами (например, вольфрамовыми и из каких-либо новых материалов, подходящих по своим свойствам).

В настоящий момент дуговая сварка является основ видом электросварки. В связи с переходом на массовое изводство и с укрупнением и механизацией его име все основания ожидать, что во второй пятилетке начне двигаться на первое место сварка сопротивлением, ко в некоторых случаях частично вытеснит дуговую сварк пример в машиностроении, изготовлении труб, резер ров и т. д.

Наконец, можно ожидать, что методы электросварки и сильно измениться. Возможны совершенно новые спос сварки, как например, использование индукционных т при нормальных и высоких частотах, электронного пот вакууме, лучистой теплоты, все эти проблемы требуют нейшего изучения.

Параллельно с развитием методов сварки требуют р ботки и методы контроля сварных швов, в особенности геновскими лучами, альфа-лучами, электрический, магни и акустический.

VIII. Электрификация транспорта

До последнего времени огромной важности задачи элек фикации транспорта не получили своего необходимого вития. Развитие электрификации транспорта Союза тр в первую очередь правильного решения вопроса о вы системы электрического тока и напряже Центральной является проблема магистральных электро особенно товарных для длиннопоточных грузовых линий.

Самой простой и естественной с точки зрения госуд венного энергетического хозяйства системой питания ж ных дорог было бы питание от общих (для всех потреб лей) высоковольтных трехфазных линий передач норма частоты (в СССР и в большинстве стран Европы—50 пер с понижением напряжения этой энергии до нужных пре в тяговых трансформаторных подстанциях того же типа и подстанции для других потребителей, и с питанием контактных проводов для тяги напряжением пор 10 ÷ 20 kV непосредственно от понизительных трансфор торных подстанций без какого-либо промежуточного преоб зования, сопряженного с потерями.

По такой системе была сооружена после войны желе дорожная линия в Италии (Рим-Сальмоно) на 10 kV трех ного тока, нормального для Италии числа периодов. Эта выгоднейшая с точки зрения общего энергетического хо ства страны система все же не нашла своего дальнейшего вития в Италии, переходящей уже после данного опыта постоянный ток 3 000 V. Не нашла пока эта сис практического применения и в других странах.

Главными же недостатками является сложная и дорог эксплоатации переходная контактная сеть и неудовлетв тельное токоснимание при напряжении в 10 kV. Сниж же напряжения до 3 000 ÷ 4 000 V ведет к ухудшению стемы с тяговой точки зрения.

Самой рациональной с точки зрения электрической как таковой, является система питания с одним (он м быть и сдвоен для получения лучшей проводимости и шего токопитания) контактным проводом, с возможно высоким напряжением в нем, доходящим до 15 и даже 2 и с возможно низкой частотой в контактном проводе. применении однополюсной контактной линии уменьша строительные эксплоатационные расходы, повышается на ность работы. Повышение напряжения позволяет увелич расстояние между подстанциями и облегчает контактну нию. Понижение частоты в контактном проводе ведет к у шению расходов по борьбе с вредным влиянием тяговы ков на линии связи. Лучшим в данном случае является стоянный хорошо выпрямленный ток. Так как электро рудования для постоянного тока напряжением 10 ÷ 2 пока не существует, то с точки зрения тяги наиболее ра нальной системой на данное время является система н частотного однофазного тока напряжением порядка 10 ÷ 2 С тяговой точки зрения недостатком этой системы явл несколько тяжелый и дорогой подвижной состав, а при менении ее на горных участках также и несовершенная куперация. Система эта в течение последних, приме 20 лет нашла широкое применение в САСШ, в Герм Швейцарии, Австрии, Венгрии, Швеции и Норвегии. В рике, где стандартизованы две частоты для линий пер (60 и 25 пер/сек), вопрос решается иначе, чем в Европе, стандартизована одна частота, и где поэтому для осущест ния такой системы тяги требуется постройка отдельных тральных станций или генераторов и линий передач сп ральной пониженной частоты. В Европе принята наиболее годная для тяговых двигателей и генераторов (1 000 об

[1]) См. Самарин, „Развитие электросталлургии в СССР и задачи электротехников", „Электричество", № 10, 1932.

Электронная областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

частота в 16 $^2/_3$ пер/сек, причем при ее применении строится или отдельная однофазная центральная станция или устанавливается на станциях общего пользования специальный однофазный генератор на 16 $^2/_3$ пер/сек. На эту же частоту сооружается и отдельная однофазная линия.

Таким образом мы видим, что в вопросе о системе тока и напряжении для тяги требования общеэнергетического хозяйства, с одной стороны, и специальные требования тяги,— с другой, до самого последнего времени сильно расходятся. Стремление в наибольшей степени сочетать требования энергетического и тягового хозяйства ведет к осуществлению комбинированных систем, включающих специальное звено, имеющее своим назначением преобразовывать один род энергии, получаемой от общих линий передач, в другой—требуемый электрической тягой. Это связанное с добавочными потерями преобразовательное звено может включаться или между линией передач и контактным проводом, т. е. на преобразовательных подстанциях, или между контактным проводом и тяговым двигателем, т. е. на самом электровозе. В зависимости от размещения преобразовательного звена мы получаем: либо систему с преобразователями на подстанциях (система трехфазно-постоянного тока и систему трехфазно-однофазного тока), либо систему с преобразователями на электровозах.

В системе трехфазно-постоянной в качестве преобразователей долгое время применялся только мотор-генератор, вводящий значительные потери в систему. Затем, для напряжения постоянного тока до 800 V стали применять более экономичные одноякорные преобразователи, а для напряжения до 1650 V стали применять два последовательно включаемых преобразователя. Для напряжения в 3 000 V вновь вернулись к мотор-генератору, но уже с двумя последовательно соединенными генераторами.

Решительный переворот в этой области произвело применение в качестве преобразователей ртутных выпрямителей, о которых мы говорили выше. Коэфициент полезного действия ртутного выпрямителя тем выше, чем выше напряжение постоянного тока.

Пионером сооружения дорог на постоянном токе является GEC, которая построила первую дорогу на 2 400 V в 1931 г., а в 1915 г.—на 3 000 V (дорога Чикаго-Мильвоки-Сен Поль). Westinghouse построил опытный участок на 5 000 V на Мичиганской дороге (в Америке), а в 1920 г. BBC строит на севере Италии электрическую железную дорогу Турин-Ланцио-Черес на 4 000 V постоянного тока. Хотя эта линия работает до сих пор, все же пока полностью практическим освоенным пределом напряжения постоянного тока следует считать 3 000 V.

Применение системы трехфазно-постоянный ток с преобразованием ртутными выпрямителями ведет к высокому к. п. д.

Недостатками этой системы является прежде всего то, что напряжение в 3 000 требует при больших грузонапряженностях малых расстояний между подстанциями (до 20 km и менее) и тяжелую контактную линию, что удорожает установку. Кроме того, ртутные выпрямители на подстанциях не могли рекуперировать энергию. Это заставило в условиях горных линий в целях повышения рекуперации либо переходить целиком на дорогой и мало экономичный мотор-генератор, либо устраивать смешанные подстанции, где параллельно работают ртутные выпрямители и мотор-генераторы, дающие ту часть мощности, которая должна быть рекуперирована. Подобная система нашла довольно широкое применение.

До последнего времени напряжение в 3 000 V применялось только на дорогах с электровозной тягой; для пригородных железных дорог строились моторные вагоны напряжением не свыше 1 500 V. Однако в 1930/31 г. построена пригородная дорога Лакавана (близ Нью-Йорка), на которой успешно курсирует около 150 моторных вагонов с электрооборудованием на напряжение 3 000 V.

В системе „трехфазно-однофазный ток" преобразование трехфазного тока 50 пер/сек в однофазный 16 $^2/_3$ пер/сек, годный для электровоза, производится в настоящее время только в мотор-генераторах, дорогих и неэкономичных агрегатах, обусловливающих недостаток системы. Необходимо отметить, что в докладе Вехмана и его сотрудников на II Мировой энергетической конференции доказывается, что общий к. п. д. этой системы не ниже, чем системы с непосредственной генерацией низкочастоточного однофазного тока и отдельной сетью линии передач.

К недостаткам этой системы относится также более вредное влияние на линии связи контактных проводов, несколько более дорогой и тяжелый подвижной состав. Большим преимуществом является высокое напряжение переменного тока в контактном проводе порядка 15 ÷ 22 kV, что позволяет устанавливать большие расстояния между подстанциями (70 km и больше) и легкую сеть контактных проводов. Система эта при большой грузонапряженности и в отношении эксплоатационнных расходов уступает системе трехфазно-постоянного тока, уступая последней и в отношении рекуперации энергии.

В самое последнее время произведены опыты по замене мотор-генератора в этой системе ртутными или ионными преобразователями. Эти обнадеживающие опыты значительно повысят качество системы и могут выдвинуть ее на первый план среди тяговых систем.

Система трехфазно-однофазного тока с мотор-генераторами применена на нескольких дорогах, например, в Швеции,, на линии Стокгольм-Готеборг.

Таким образом из обеих систем этой группы предпочтение при состоянии техники на сегодняшний день нужно отдать системе трехфазно-постоянной.

Обратимся теперь к системам с преобразователями на электровозе. Здесь мы также имеем, с одной стороны, модификацию системы трехфазно-постоянной, а с другой— модификацию системы трехфазно-однофазной. В системах с преобразовательными электровозами в контактном проводе течет однофазный ток (использование отдельных фаз трехфазного тока) 50 пер/сек. Преобразование в ток постоянный или в трехфазный происходит на самых электровозах. Трехфазному току обычно отдается преимущество, так как при этом получаются бесколлекторные двигатели и автоматическая рекуперация. Электровозы с мотор-генераторами сложны, тяжелы и дороги и окупаются только при очень тяжелых составах и мощных и тяжелых электровозах. В последнее время делаются попытки создать более простой преобразовательный электровоз. Идут двумя путями: путем установки ртутных

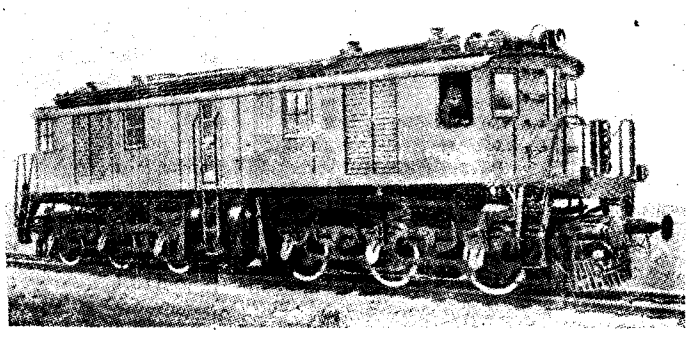


Рис. 8. 145 тонный электровоз для Сурама, изготовленный фирмой GEC постоянного тока на 3000 V

выпрямителей и путем развития систем преобразования Кандо (электровозы этой системы уже заказаны для пригородных железных дорог) и Пунга-Шен. Наличие преобразовательного агрегата на электровозе дает ему определенные преимущества—хорошую регулировку скорости, устранение вредных блуждающих токов в рельсах и т. д.

В самое последнее время появляется построенный на новом принципе выпрямителей электровоз BBC.

В системе однофазно трехфазной чрезвычайно упрощается оборудование подстанций, превращающихся в трансформаторные, но усложняется оборудование электровоза. Необходимо отметить, что для нашей страны, по преимуществу равнинной, с громадными грузонапряженностями, подвижной состав будет иметь решающее влияние на выгодность системы.

Огромные успехи в области ртутных выпрямителей с управляемыми сетками, о которых мы говорили выше, появление преобразователей частоты вносит существеннейшие сдвиги в решение вопроса о выборе системы тока и напряжения.

Для электрификации железных дорог СССР на ближайшие годы выбрана система постоянного тока. На заводе „Динамо" в настоящее время идет постройка электрооборудования для шестиосных электровозов (весом 132 t) постоянного тока на 3 000 V.

Мы полагаем, что в результате дальнейшей работы рациональным решением проблемы явится применение однофазного тока нормальной частоты напряжением порядка 20 kV.

Наши научно-исследовательские институты должны проделать очень большую работу как по окончательному установлению системы

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

тока и напряжения, так и по установлению всех необходимых элементов, обусловливающих создание наиболее эффективных конструкций.

Нормальным типом преобразовательного агрегата, видимо, явится ртутный выпрямитель, и, несомненно, что применение в нем управляемой сетки вытеснит на горных участках мотор-генераторы. Можно определенно полагать, что ионные преобразователи займут доминирующее значение в электрической тяге. Разрешение вопроса о ртутных выпрямителях с управляющими сетками, позволяющими получать широкие пределы регулировки напряжения со стороны постоянного тока, позволит совершенно отказаться от установки на тяговых подстанциях дорогостоящих мотор-генераторов.

В области наших ртутных выпрямителей важной проблемой является система охлаждения. Завод „Электросила" строит ртутные выпрямители с охлаждением водой—проточной либо циркулирующей. Это, конечно, вызывает лишние эксплоатационные расходы, а в ряде случаев при затруднениях с получением воды в данной местности ставит под сомнение самую возможность применения на таких подстанциях ртутных выпрямителей. За границей часто устанавливается система воздушно-водяного охлаждения. Циркулирующая вода охлаждается воздушными вентиляторами. Это требует допущения на выпрямителях более высоких температур порядка 55° (допускается фирмой BBC) в место ныне допускаемых заводом „Электросила" 42° и кратковременно до 50°. Необходимо поставить и разрешить задачу надежной работы выпрямителей при температурах, допускающих применение воздушно-водяного охлаждения.

В отношении схемы питания ртутных выпрямителей следует поставить вопрос о двенадцатифазных трансформаторах, которые ведут к уменьшению пульсации выпрямляемого тока и тем самым к уменьшению его влияния на линии связи.

Необходимо также поставить задачу совмещения делительной катушки и силового трансформатора в одном кожухе (осуществляется в настоящее время фирмой Oerlikon), что значительно упрощает монтаж камер силовых трансформаторов ртутных выпрямителей и одновременно позволяет сократить их размеры.

Пока же на ближайшее время мы, конечно, должны обратить серьезное внимание на производство мотор-генераторов, которые теперь изготовляются уже на Харьковском электромеханическом заводе. Мотор-генератор длительной мощности со стороны постоянного тока в 2 000 kW при 3 000 V и 500 об/мин состоит из 5 машин, установленных на общей фундаментной плите: синхронного мотора трехфазного тока на 6 000 V, 2 450 kVA при $\cos\varphi = 0{,}9$ двух соединенных последовательно генераторов постоянного тока по 1 500 V и двух возбудителей.

Необходимо подвергнуть детальной разработке вопрос обоснования выбора мощности мотор-генераторов и обмотки генераторов.

Особое внимание необходимо уделить вопросу автоматических подстанций, получивших широкое развитие в Западной Европе и Америке и имеющих огромные преимущества по сравнению с ручными. По причинам выше указанным необходимо сосредоточить внимание на автоматизации ртутно-выпрямительных подстанций. Необходимо в самом срочном порядке провести исследование различных схем автоматизации подстанций и в первую очередь автоматики защиты и повторного включения.

Не останавливаясь на отдельных деталях схем автоматизированной подстанции, необходимо отметить, что наиболее приемлемой является схема включения от реле максимального и минимального тока через реле времени. Такая схема позволяет включать и выключать только в моменты действительной необходимости. Необходимо провести работы по установлению окончательной системы контактного оборудования для магистральных и пригородных железных дорог СССР.

В конструкции тепловозов отмечается в САСШ стремление к постепенному увеличению удельной мощности двигателя тепловоза. Примером этого является новый маневровый тепловоз на железной дороге „Ири-Рейлроад" в Акроне в Штате Огайо, у которого мощность двигателя 800 л. с. при общем весе тепловоза 115 t. Вопрос о типе тепловоза и его электрооборудовании в условиях СССР требует своего скорейшего разрешения.

Несколько слов о необходимых технических сдвигах на водном транспорте на базе электрификации. Электрификация резко изменит и усовершенствует внутренние водные пути. Введение, например, в эксплоатацию Днепровской гидроцентрали в результате затопления днепровских порогов делает Днепр сквозной судоходной магистралью. По решению правительства и ЦК ВК должны быть построены 3 плотины на Волге и одна на Электрификация и гидроэлектростроительство обеспечит ные пути, достижение и поддержание которых методом черпания и выпрямительными работами невыгодно и тре огромных капиталовложений.

Особое значение имеет электрификация шлюзовых устро

Целый ряд важнейших проблем стоит в области широ электрификации морских и речных портов. Развитие элек фикации позволяет Советскому союзу сразу перейти к более совершенным формам механизации.

Особо необходимо отметить проблемы электродви ния, электротяги судов. В последние годы за грани начинают применять турбоагрегаты на судах: с ной стороны, для приведения их в движение, а с друго с целью использования судов в качестве резервных п вучих станций в прибрежных местностях. В Амер и Англии строят суда с приводом от турбоагрегатов вин турбин. Передача энергии винтам происходит посредст электромоторов, мощность которых достигает десятков т киловатт. Так, например, американский военный кор „Ленсингтон" имеет на борту 4 турбогенератора трехфаз тока по 42,5 MVA (32,5 MW) на 5 kV при 60 пер/сек.

Турбогенератор дает большие преимущества судну: знач тельная (до 30 ÷ 40%) экономия в весе дизель-электричес установок, уменьшение размеров машинного помещени как, следствие, увеличение полезной грузоподъемности су до 30% и др. Турбина, как известно, машина нереверсив и для обратного хода приходится иметь на борту друг малую турбину. Военное судно, в случае отступления, и ленно поворачивается, подставляя при этом весь свой кор по длине неприятельскому обстрелу, а затем уже отступ прямым ходом. Тубогенератор же позволяет судну осуще влять быстро и легко реверсировкой электромоторов прямой, так и обратный ход.

1931 г. характеризуется значительным развитием турбоэл троприводa на судах как в САСШ, так и в Англии (фир Thomson-Houston). Несмотря на небывалых размеров кри GEC оборудован в 1931 г. электроход общей мощностью 67% от мощности, установленной за последние 10 лет. Ин работа над электрическими сверхлайнерами и во Франц Société Generale de Constcrutions El. et Mécaniques). Сумм ная мощность турбоэлектрических судовых двигателей и установленных, так и находящихся в процессе изготовлен в 1931 г. превысили 1 000 000 л. с. Общее число построе ных за границей электроходов превысило 250 судов. Общ мощность всех построенных за границей до настоящего вр мени электроходов на гребных валах достигает 1 500 000 л

Вопрос о турбогенераторах на судах требует, несомнен серьезной проработки, ибо здесь возникает и ряд трудносте вопросы вибрации, вопросы возможного совпадения частот электрической и механической и т. д. Но опыт Америки Англии говорит, несомненно, о полной возможности разр шения этих задач.

Необходимо осуществить во второй пятилетке полн электрификацию вспомогательных механизмов на морск судах и речных судах большой и средней мощности,

Особое внимание необходимо уделить электронавигацион ным приборам.

IX. Световакуум техника

Осветительная техника является молодой, но бурно раст щей отраслью электротехники. Световое хозяйство в настоящ время играет крупную роль в общем балансе мирового электр энергетического хозяйства.

Осветительная техника приобретает в Союзе особое знач ние с точки зрения задач социалистической реконструкци производства, улучшения обстановки и условий труда и увел чения его производительности, улучшения качества продукци

Современная лампа накаливания, построенная на принцип температурного излучения, с калильной нитью из вольфра обладает низким коэфициентом превращения лучистой тепл вой энергии в световую, не превышающим 3 ÷ 4 %. Повыше ние этого коэфициента возможно путем повышения темпер туры накала нити, а следовательно, применения для послед металлов еще более тугоплавких, чем вольфрам, наприм карбид тантала, и т. п. Источники света, построенные принципе свечения паров и газов в электрическом разряд газосветные трубки — являются более экономичным чем лампочка накаливания.

Электронная библиотека исторических материалов
www.booksite.ru

Пути современной светотехники характеризуются стремлением отказаться от чисто температурного излучения и использовать другие методы его возбуждения. Достигнуты уже крупные результаты на пути применения разряда в газах.

Необходимо уделить также серьезное внимание вопросу разряда высокой частоты в парах и газах и в связи с этим—возможному применению для этой цели ультракоротких волн. В ВЭИ ведется в настоящее время работа—„разряд высокой частоты как источник света".

Недостатком газосветных источников является то, что они дают цветное излучение. Этот недостаток возможно устранить, комбинируя освещение несколькими газосветными трубками, соответственно подобранными.

Электроосветительная промышленность должна решительно повернуться лицом к угольной промышленности, металлургии, машиностроению, транспорту. Полный успех механизации подземных работ требует их хорошего освещения, которое, как известно, является фактором повышения производительности труда, его безопасности, улучшения качества и уменьшения ряда профессиональных заболеваний.

Необходимо уделить серьезное внимание освещению металлургических предприятий, горячих цехов, металлообработки, химической промышленности, проблеме освещения в сельском хозяйстве—в колхозах и совхозах, в связи с их переходом на непрерывную работу. Уже в 1932 г. мы обязаны обеспечить угольные шахты взрывчато-безопасной арматурой в количествах, соответствующих масштабам механизации Донбасса.

Необходимо уделить серьезное внимание арматуре герметической для химической промышленности. Необходимо дальнейшее улучшение производственного процесса существующих типов ламп, а также постановка производства ряда новых типов источников света, в частности—богатых ультрафиолетовой радиацией.

Большие задачи стоят перед нашей светотехникой в области фотоэлементов, которые быстро совершенствуются и из чисто лабораторного прибора превращаются в прибор довольно широкого употребления. Кроме целей удобной, быстрой и объективной точной фотометрии, а также применения в передачах телеавтографов и телевидения, фотоэлемент завоевывает все новые и новые области применения.

Счет деталей, проходящих по конвейеру, контроль при окраске тканей, проверка бумаги на однородность по толщине и отсутствие проколов при фабрикации бумажных конденсаторов, предохранители от пожара, автоматическое зажигание уличного освещения, сортировка бобов (окраска меняет количество света, отбрасываемого на фотоэлемент—белые бобы проходят свободно, желтые или вообще темной окраски отсортировываются); изменение направления грузов на конвейерах (в определенных местах, например, однорельсового конвейера, тележки останавливаются и сбрасывают груз, который они несут, болванка прокатного стана, дойдя до определенного места и бросив свет на фотоэлемент, через реле вызывает реверсию стана); автоматическое открытие дверей и т. д.—вот отдельные из многочисленных областей применения фотоэлементов[1]). За границей таких областей применения насчитывается уже более 200. Чувствительность фотоэлемента чрезвычайно возросла. Имеются фотоэлементы, непосредственно приводящие в действие чувствительные механические реле. Возросла и надежность фотоэлемента в работе. Имеются фотоэлементы, чувствительные к любой части спектра-ультрафиолетовой, красной, а также полностью соответствующие по частотной характеристике человеческому глазу. Придание третьего управляющего электрода фотоэлементу (как сетка в усилительной лампочке) может превратить его в „холодную" усилительную лампочку, не требующую нагревания катода для получения эмиссии. Приемник на таких лампах был на выставке в Берлине еще в 1930 г. Его холодные катоды давали при этом эмиссию под влиянием освещения их 50-свечной лампочкой накаливания. Телевидение и фотоэлементы ведут к тому, что при машинах и аппаратах появятся „электрические глаза" для наблюдения, контроля за работой машины, ее регулирования и управления ею даже на расстоянии.

Особо мы хотели остановиться на вопросе к. п. д. фотоэлементов. Если еще 6—7 лет тому назад коэфициент использования световой энергии в них и превращения в электрическую составлял лишь одну стомиллионную, а к 1932 г. появились фотоэлементы, дающие фототок порядка 10^{-3}—10^{-4} А при световом потоке в 1 люмен на cm^2, то совершенно естественно ожидать, что в процессе быстрого динамического развития фотоэлемент может превратиться в серьезный технический аппарат использования фотоэлектричества и отсюда в перспективе—как средство использования через посредство электрической энергии—энергии солнца.

X. Электротехнические материалы

Нашей стержневой задачей является быстрейшее полное освобождение от импорта, и здесь на первом плане стоит вопрос о первую очередь о советских электротехнических материалах изоляционных. Во всех своих научно-исследовательских работах мы ставим обязательным условием переход полностью на советское сырье. Огромная роль материалов и стоящих перед ними задач требует очень широкого специального обсуждения.

Назовем только ряд проблем в отдельных областях.

В области магнитных материалов и металлических проводников. Получение материалов с высокой коэрцитивной силой при применении советского сырья; изыскание новой трансформаторной стали на основе применения титана; изыскание легких магнитных сплавов; изыскание материала с постоянной магнитной проницаемостью; металлический рений, как материал для изготовления нити электроламп; натрий (или калий) в виде специально изолированных проводников для замены меди и алюминия с повышенным экономическим эффектом электропередачи и т. п.

В области керамических материалов. Порядок нахождения способов хорошего обжига для окиси алюминия в целях использования глиноземных керамических масс в самых разных отраслях электрохозяйства: производство карборундовых масс для сопротивлений типа оцелита и тайрайта, а также для наполнителей электронагревательных приборов, высокие сопротивления на большие мощности и напряжения; использование стеатита кускового и в виде масс для изоляционных материалов и изделий; использование кремния, как проводника; производство изоляторов и других деталей из переплавленных горных пород и т. п.

В области органических изоляционных материалов. Получение искусственного каучука из производных ливинилов, дальнейшее изучение природных газов как источника синтетических смол; разработка способов получения смол из нефти; использование продуктов окисления парафина для получения искусственных смол, восков и пластификаторов; облагораживание пеков и смол лиственных древесных пород; механизация производства слюдяной изоляции; электросинтетическое получение основного сырья для пластических масс, электропокрытие проводников изоляционными пленками неорганического, органического и комбинированного состава; старение органических изоляционных материалов; овладение свойствами почвы как материала, с целью изменять их в нужную для электротехники сторону увеличение и уменьшение электро-и теплопроводности, повышение и понижение капиллярной проницаемости и т. д.

Особого внимания заслуживает оксидная изоляция—изолирующая пленки окиси на поверхности металла (алюминия) и ацетил-целлюлозные пленки, имеющие большую электрическую прочность при очень малой толщине.

SSW выпущен трансформатор с оксидной изоляцией. Другие иностранные фирмы строят электротяговые моторы с катушками возбуждения, имеющими оксидную изоляцию. Metropolitan-Vickefs выпускает электротяговые моторы с пазовой изоляцией обмотки якоря из ацетил-целлюлозных пленок.

В лабораториях ВЭИ успешно разрешена задача получения оксидной изоляции. Изготовлен опытный асинхронный мотор на 1,5 kW с оксидной изоляцией, полностью лишенный меди. На Электрозаводе построен опытный осветительный трансформатор с оксидной изоляцией на 10 kVA.

Электро-вакуумная техника, давшая новое направление электротехнике высоких частот со всеми ее разветвлениями, в настоящее время начинает играть очень серьезную роль в важнейших решающих областях техники сильных токов. Работы в области вакуума должны заменять место в наших научно-исследовательских работах второй пятилетки.

Мы коснулись здесь лишь вкратце целого ряда основных решающих проблем научно-исследовательской работы. Наш очерк является далеко не исчерпывающим. Однако изложенное говорит о тех грандиозных задачах, которые стоят перед нами.

[1]) См. „General Electric Review", 1932, № 1, а также Б. Ланге (Берлин)—„Фотоэлементы в науке и технике" в журнале „Успехи физич. наук", 1931, в. 5, т. XI, перев. В. Фабрикант из „Naturwiss.", 1931.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИСТЕМ

Устойчивость сетей и влияние на нее перевозбуждения[1])

Рудольф Майер
Германия

Мнения специалистов по вопросу, можно ли увеличением возбуждения достигнуть повышения устойчивости сетей в случае аварии, разделились. Перевозбуждение синхронных компенсаторов при коротких замыканиях рекомендуется как мера поддержания удерживающего напряжения[2]), главным образом, в американских работах. С другой стороны, наоборот, подчеркивается, что благодаря повышению возбуждения нагрузка во время аварии может увеличиться до опасной для устойчивости величины[3]).

В настоящей работе этот вопрос будет разобран на числовом примере. Способ, которым производятся подобные подсчеты (с введением ряда упрощающих допущений) будет в общей форме всесторонне разобран в последующей работе.

I. Характеристика числового примера

Положенные в основу расчетов данные числового примера приведены на рис. 1. Силовая станция *I* мощностью в 125 MVA работает через

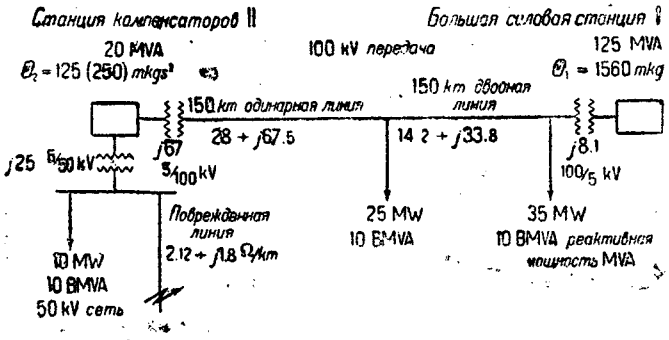


Рис. 1. Схема и данные разбираемой передачи.

100-kV линию длиною в 300 km параллельно со станцией синхронных компенсаторов *II* номинальной мощностью 20 MVA. Задачей станции *II*, особенно учитывая значительное потребление реактивной мощности, приключенной 50-kV сетью, прежде всего является поддерживание величины напряжения. В предельном случае активная мощность полностью подается большой станцией. Под понятием аварии принято короткое замыкание на линии, отходящей от 50-kV шин.

Даже без подробного аналитического исследования можно заранее сказать, когда при этих допущениях следует ожидать нарушения устойчивости. Так как активная мощность согласно предыдущему направлена от большой станции к малой, то уже при нормальной эксплоатации имеет место отставание э. д. с. станции *II*; это отставание становится тем больше, чем меньше нагружена станция *II* и, следовательно, наибольшим при работе ее только в качестве компенсатора. Во время аварии отставание может увеличиться до положения выпадения из синхронизма, как только повреждение вызовет сильный толчок активной нагрузки малой станции. Следующим моментом, позволяющим предполагать выпадение из синхронизма, является то, что вследствие падения напряжения весьма сильно уменьшаются синхронизирующие силы между станциями. Таким образом рассмотрение вопроса, ведет ли определенная авария при имеющих место соотношениях в сети и условиях эксплоатации к нарушению устойчивости, сводится к сравнению толчка активной нагрузки на малой станции с синхронизирующими силами.

II. Ход расчета

Исходным пунктом рассуждений является распределение электрической нагрузки между обоими источниками тока в зависимости от угла расхождения их э. д. с. Сделав ряд определенных допущений в отношении поведения синхронных машин, получают выражения следующего вида:

$$\left.\begin{aligned} &\text{большая станция } I \\ &\qquad N_1 = N_{10} + N_s \sin(\vartheta + \psi), \\ &\text{малая станция } II \\ &\qquad N_2 = N_{20} - N_s \sin(\vartheta - \psi). \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Угол расхождения между э. д. с. считается положительным при отставании э. д. с. малой станции. Мощности обеих станций (N_1 и N_2) могут быть разложены на две составляющих: первая составляющая N_{10} или N_{20} не зависит от угла расхождения, вторая составляющая является тригонометрической функцией угла ϑ и представляет, таким образом, синхронизирующую силу.

Из второго выражения (1) видно, что для станции синхронных компенсаторов при положительном угле $\vartheta - \psi$, т. е. начиная с определенного угла отставания, постоянная составляющая мощности N_{20} и синхронизирующие силы действуют взаимно противоположно. N_{20} вследствие тормозящего действия стремится увеличить отставание, в то время как благодаря второй составляющей станция разгружается при большом отставании до работы мотором, и, таким образом, положение ее роторов приближается к таковому же станции *I*. Как было уже ранее указано в предыдущем разделе, решающим для устойчивости является поэтому соотношение обеих составляющих мощности.

Чтобы иметь возможность проследить увеличение отставания во времени, нужно составить уравнения движения для роторов обоих источников тока. Ускорение или замедление движения качающихся масс определяется разницей мгновен-

[1]) Помещая оригинальную, написанную специально для „Электричества" статью видного немецкого специалиста д-ра Рудольфа Майера, редакция имеет ввиду открыть этим серию статей иностранных ученых и специалистов в журнале. Ред.

[2]) Jones „General Electric Revue", 1927, s. 580, u. „JAIEE", 1928, S. 357. „Treat. El. Rev. S.", 326.

[3]) Bakker u. Staveren, First World Power Conference, Bd. III. S. 835.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ных мощностей машин двигателей и электрических нагрузок.

Приняв эти условия для обоих источников тока, можно составить уравнение движения следующего вида:

$$\frac{d^3\vartheta}{dt^2}+S\sin(\vartheta-\chi)=A. \qquad (2)$$

Величина S (размерность $\sec^{-2}$) может быть представлена, как величина, характеризующая синхронизирующие силы, так как они действуют в направлении уменьшения угла расхождения. Она тем больше, чем больше максимальное значение мощности обмена N_s [уравнение (1)].

Кроме того, на нее весьма сильно влияют качающиеся массы обоих источников тока. Против S действует в направлении увеличения угла расхождения величина A, в которую входят мощности машин двигателей обоих источников тока; а именно A увеличивается с увеличением разницы между мощностями машин двигателей, отнесенных к соответствующим качающимся массам. Далее, величина A зависит также от постоянных составляющих мощности N_{10} и N_{20} уравнений (1). Она в рассматриваемом примере тем больше, чем больше независящая от угла ϑ составляющая мощности станции синхронных компенсаторов N_{20}. Таким образом мы получаем математическое выражение высказанного в предыдущем разделе положения, что значительная нагрузка станции компенсаторов в момент аварии увеличивает опасность выпадения из синхронизма.

Уравнение (2), которое выражает случаи аварии в сети, дает возможность решить вопрос, ведет ли определенная авария к выпадению из синхронизма или нет. Прежде всего ясно, что конечное устойчивое значение угла расхождения не может установиться до тех пор, пока величина A больше величины S, характеризующей синхронизирующие силы. Для каждого значения угла ϑ имеется при этом условии налицо сила ускорения для дальнейшего увеличения угла расхождения.

Предельный случай, когда $S=A$, является статическим пределом устойчивости, т. е. выпадение из синхронизма будет иметь место в случае, когда переход из нормального в аварийное состояние происходит постепенно. В действительности, однако, благодаря толчкообразному появлению нагрузки короткого замыкания условия будут более неблагоприятными. Поэтому вследствие перехода всех величин через их конечные стационарные значения можно ожидать выпадения из синхронизма и тогда, когда A меньше S. Уменьшение отношения $\frac{A}{S}$ по сравнению с 1, необходимое, чтобы попасть в область устойчивости, зависит от угла расхождения ϑ_0, имеющего место перед аварией. Этот угол дан состоянием сети и нагрузки при нормальной работе непосредственно перед аварией. Числовые данные ухудшения устойчивости вследствие динамических явлений можно взять из рис. 2, на котором даны допустимые предельные соотношения, как функция угла $\vartheta_0-\chi$; посредством ϑ_0 ранее уже обозначался начальный угол расхождения, угол λ зависит от электрических величин поврежденной сети. Кривая рис. 2 будет в рассматриваемых числовых примерах использована для решения вопроса, ведет ли данная авария к выпадению из синхронизма.

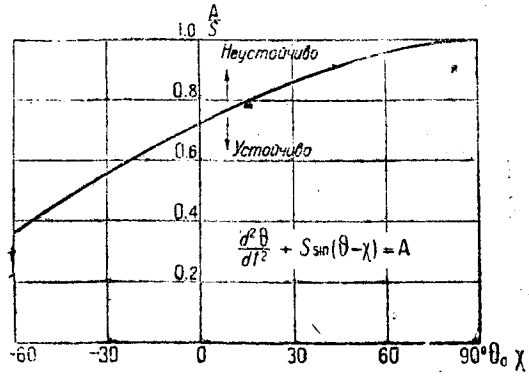


Рис. 2. Кривая динамического предела устойчивости.

III. Обзор результатов

Результаты числовых подсчетов даны в прилагаемой сводке.

В столбцах 1—4 приведены сначала данные, на основе которых помощью уравнений (1) можно получить распределение мощностей между обоими источниками тока в зависимости от угла расхождения ϑ_0 их роторов. В следующих столбцах (5—7) приведены величины уравнения движения (2), дающие возможность решить вопрос о нарушении устойчивости. Столбец 8 дает начальное знание угла расхождения ϑ_0, который соответственно двум принятым вариантам нагрузки равен 27° или 42°. В столбце 9 дано вычисленное по величинам столбцов 5—6 отношение $\frac{A}{S}$, которое сравнивается с допустимым предельным значением по рис. 2. Если подсчитанное для аварийного режима сети отношение $\frac{A}{S}$ становится равным или больше предельного отношения, то это значит, что станции выпадают из синхронизма. Это и указывается особо в столбце 1. Данными, приведенными в следующих столбцах (12—18), характеризуются род аварий и особенности обеих станций.

Первые три случая (строка 1—3) относятся к нормальному режиму работы сети. На рис. 3 для

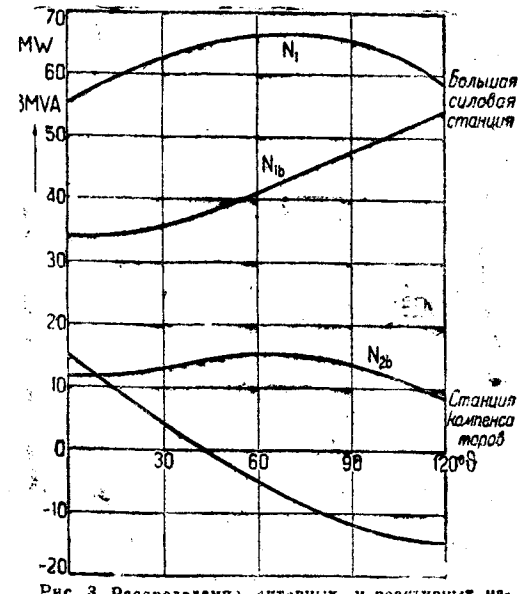


Рис. 3. Распределение активных и реактивных нагрузок в зависимости от угла расхождения ϑ.

Электронная библиотека Университета Универсальная научная библиотека www.booksite.ru

Сводка регуляторов подсчета

Распределение мощности между обоими источниками тока

$$N_1 = N_{10} + N_s \sin(\vartheta + \psi)$$
$$N_2 = N_{20} - N_s \sin(\vartheta - \psi)$$

Уравнения движения

$$\frac{d^2\vartheta}{dt^2} + S \sin(\vartheta - \chi) = A$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Распределение мощности MW				Уравнения движения						Результат	Короткое замыкание род и расстояние	э. д. с. станции kV		Реактанц машин станции Ω		Нагрузка перед аварией	Момент инерции
																	станции II	
	N_{10}	N_{10}	N_s	ψ_0	A	S^{s-2}	χ	ϑ_0	$\frac{A}{S}$	$\left(\frac{A}{S}\right)$ пред.			I	II	I	II	MW	m kg sec²
1	45,5	6,6	21	24	5,1	30,5	18	27	0,165	0,77	—	Неравное	135	145	54 синхронный	335 реактанц	5	250 генер. и турб.
2	45,5	6,6	21	24	13	30,5	18	42	0,42	0,84	—	„	135	145	„	„	0	—
3	45,5	6,6	21	24	21,5	55,5	22	42	0,39	0,82	—	„	135	145	„	„	0	125 генер. один
4	55	11	17,5	24	8,8	25,5	18	27	0,35	0,77	Устойчиво	3-фазное 20 km	135	145	49 90% синхронного реактанца	170 50%	5	250
5	55	11	17,5	24	16,5	25,5	18	42	0,65	0,83	„	„	135	145	—	—	0	—
6	55	11	17,5	24	31	48	21	42	0,65	0,82	„	„	135	145	—	—	—	125
7	55	16	21	24,5	44	57	21	42	0,77	0,82	„	„	135	175	—	—	—	—
8	55	23,5	25	22,5	62,5	70	19,5	42	0,89	0,83	Выпадение из синхронизма	„	135	175	—	135 40%	—	250 125
9	55	23,5	25	22,5	32,5	37	16,5	42	0,88	0,84	„	„	135	175	—	—	—	—
10	50	1,1	12,8	3,1	6,1	36	3	42	0,17	0,90	Устойчиво	3-фазное 50 kV (сб. шины) ст. II 5 km	135	175	—	—	—	—
11	52	9,1	16,5	16	26	46	14	42	0,57	0,85	„	„	135	175	—	—	—	—
12	53	17,5	20	20	48	56	17	42	0,86	0,84	Выпадение из синхронизма	10 km	135	175	—	—	—	—
13	55	29,5	33,5	23	79	92	20	42	0,86	0,83	„	40 km	135	175	—	—	—	—
14	55	29	37,5	20	78,5	103	18	42	0,76	0,84	Устойчиво	60 km	135	175	—	—	—	—
15	52	13,5	24	13	37,5	67	11	42	0,56	0,87	„	2-фазное 5 km	135	175	—	—	—	—
16	55	23	35,5	17	62	98	14	42	0,64	0,85	„	20 km	135	175	—	—	—	—

этого дано распределение мощности между обеими станциями, соответствующее числовым данным столбцов 1—4. Они показывают, что изменение угла расхождения незначительно влияет на величину нагрузки большой станции *I*. Активная нагрузка малой станции уменьшается, наоборот, очень быстро с увеличением угла отставания, и последняя (станция), примерно при угле в 42° переходит в область работы мотором.

Значение начального угла расхождения ϑ_0, необходимое для расчета устойчивости, получают из условий распределения мощности для случая нормального режима сети. Здесь рассматриваются два случая состояния нагрузки при нормальной работе. Сначала принято, что малая станция несет непосредственно перед аварией нагрузку в 5 MW (строка 1, столбец 17). Из рис. 3 получают, что при этом угол отставания равен 27°. В качестве второго случая принято, что станция *II* перед аварией была ненагруженной; угол отставания при этом увеличивается до $\vartheta_0 = 42°$. В величинах уравнения движения (A, S и χ) холостой ход малой станции проявляется в том, что движущая сила A увеличивается больше, чем в два раза. Соответственно этому отношение $\frac{A}{S}$ значительно ближе к допустимому пределу, чем в первом случае (столбцы 9 и 10).

Для третьего случая, наконец, принято, что синхронные машины станции компенсаторов работают без машин-двигателей (столбец 18). Для этого случая качающиеся массы взяты в 2 раза меньше. При этом величина A и S (столбцы 5 и 6) увеличиваются почти вдвое, отношение же их (столбец 9) изменяется, однако, незначительно. Следовательно, уменьшение качающихся масс практически не влияет на запас устойчивости при нормальном режиме. При расчете распределения мощности предположения в отношении поведения синхронных машин играют решающую роль. При стационарных условиях нормального режима в качестве действующего реактанца вводится

Библиотека общества универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

синхронный реактанц, значения которого даны в столбцах 15 и 16. Числовые значения э. д. с. приведены в столбцах 13 и 14. Так как в районе обслуживания станции синхронных компенсаторов, как принято ранее (рис. 1), имеет место большая реактивная нагрузка, эта станция должна иметь большую э. д. с. Только таким образом, как это видно на рис. 3, можно получить распределение реактивных нагрузок, приближающееся к желательному. Линия передачи должна по возможности нести только активную нагрузку. Большое возбуждение станции компенсаторов увеличивает, как это выявится из следующих расчетов устойчивости, опасность выпадения из синхронизма.

В следующих 6 случаях рассматривается трехфазное короткое замыкание на отходящей от малой станции 50-kV линии. Отдаленность места короткого замыкания принята равной 20 km. Решающим для распределения мощности между обоими источниками тока является поведение синхронных машин при внезапном изменении внешнего импеданца. Если синхронная машина внезапно замыкается накоротко на холостом ходу, то внутреннее падение напряжения обусловливается суммарным рассеянием, составляющих только часть (20 ÷ 25%) синхронного реактанца. В практике эксплоатации скачок импеданца, который имеет место при аварии в сети, однако, не такой большой. Соответственно этому и значения реактанцев машин не снижаются до величин реактанцев рассеяния; поэтому следует вводить промежуточное значение между реактанцем рассеяния и синхронным, которое тем меньше, чем больше скачок импеданца для соответствующей машины. Впрочем, уменьшенные значения реактанцев действительны только до тех пор, пока не затухли уравнительные токи. Время затухания их, однако, обычно больше, чем время, в течение которого может произойти выпадение из синхронизма; для расчетов устойчивости оказывается поэтому правильным вводить реактанцы уравнительного процесса.

Для рассматриваемого примера условия, таким образом, следующие: малая станция работает при нормальном режиме, соответственно ее незначительной нагрузке, на большое кажущееся сопротивление, которое при коротком замыкании сводится к части его. Импеданц же потребителей большой станции вследствие ее большой нагрузки, наоборот, мал уже и при нормальном режиме и может при коротком замыкании в районе питания малой станции *II* измениться не так сильно. Эти обстоятельства учтены при расчете устойчивости тем, что уравнительный реактанц в случаях 4—7 принят для большой станции *I* равным 90% и для малой станции *II* 50% значения соответствующих синхронных реактанцев (столбцы 5 и 16); э. д. с. же обеих станций приняты такими же, как и для нормального режима (столбцы 13 и 14). Случаи 4—6 в отношении состояния нагрузки станций соответствуют случаям 1—3 нормального режима. Для случая 4 принята нагрузка малой станции в 5 MW, для случая 5—холостой ход, и, наконец, в случае 6—синхронные машины малой станции работают без машин-двигателей (половинный момент инерции). Сравнение числовых данных столбцов 9 и 10 прежде всего показывает, что в этих трех случаях станции остаются в синхронизме. Кроме того, это сравнение дает также возможность сделать заключение о степени запаса устойчивости. Из данных следует, что более неблагоприятным для устойчивости является случай холостого хода станции *II*, так как отношение $\frac{A}{S}$ при этом подходит к допустимому предельному значению. При уменьшенном моменте инерции (строка 6) имеет место дальнейшее ухудшение.

Следующий случай (17) отличается от предыдущего тем, что э. д. с. малой станции принята примерно на 20% больше (175 kW против 145 kW). Это увеличение может быть достигнуто помощью быстродействующего перевозбуждения, что, главным образом, и рекомендуется в американских работах в целях увеличения устойчивости при авариях; э. д. с. большой станции *I* наоборот, остается неизменной. Большее возбуждение малой станции *II*, как видно из столбца 3, ведет к тому, что синхронизирующие силы N_s между станциями увеличиваются. В случае 7 N_s больше на 20% по сравнению со случаями 4—6, т. е. возросло в той же степени, как и э. д. с. С точки зрения устойчивости это выгодно, однако, увеличение э. д. с. вызывает одновременно и увеличение составляющей нагрузки станции компенсаторов N_{20} (столбец 2), не зависящей от угла расхождения роторов. Из данных явствует, что увеличение последней значительно больше увеличения синхронизирующих сил (с 12,2 до 17,8, т. е. на 45% против 20% для N_s). Соответственно этому возрастанию величины A, характеризующей движущие силы (столбец 5), больше чем возрастание величины S, характеризующей синхронизирующие силы (столбец 6). Вследствие этого определяющее степень устойчивости отношение $\frac{A}{S}$ подходит ближе к допустимому пределу (столбы 9 и 10), и надежность устойчивости уменьшается.

Для следующего случая (строка 8) принято, что действующий внутренний реактанц машин станции компенсаторов уменьшается при коротком замыкании сильнее, а именно до 40% от синхронного реактанца против 50% в предыдущих случаях. Небольшой реактанц машин, а следовательно, большая мощность короткого замыкания рассматриваются, как и большее возбуждение, почти всегда как благоприятные с точки зрения устойчивости факторы, так как благодаря этому увеличиваются синхронизирующие силы. Из столбца 3 следует, что это увеличение по сравнению со случаем 7, составляет 20%. Меньший реактанц обусловливает, однако, одновременное увеличение (примерно на 40%) постоянной составляющей мощности N_{20} (столбец 2), неблагоприятное для устойчивости. Неблагоприятное влияние настолько сильнее благоприятного, что отношение $\frac{A}{S}$ становится почти равным допустимому пределу. Силовые станции выпадают из синхронизма.

В изложенном мы познакомились с примером в котором как увеличение возбуждения, так и

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

увеличение мощности короткого замыкания влекли за собою явное уменьшение устойчивости при авариях.

Полученные результаты можно в общем формулировать следующим образом. Увеличение возбуждения и уменьшение реактанца машин неблагоприятны для устойчивости тогда, как они предусматриваются у группы машин вследствие отставания роторов, у которых можно ожидать опасности нарушения устойчивости. Отставанием для этого является то, что оба мероприятия содействуют увеличению нагрузки соответствующей станции, что влечет за собой увеличение угла отставания. Это неблагоприятное влияние больше, чем одновременно достигаемое увеличение синхронизирующих сил.

Следующий случай (строка 9) отличается от предыдущих тем, что качающиеся массы малой станции приняты в два раза больше. Это означает, что машины, при нормальном режиме нагруженные только реактивно, связаны с соответствующими машинами-двигателями. Из таблицы следует, что величины A и S (столбы 5 и 6) уменьшаются почти в два раза, но что отношение $\frac{A}{S}$ остается, однако, меньше критического предела (столбцы 9 и 10). Увеличением качающихся масс, таким образом, достигается то, что станции, хотя и с небольшой надежностью, остаются в синхронизме.

В следующих 5 случаях (10—14) меняется место трехфазного короткого замыкания. Простоты ради для э. д. с. и действующих реактанцев машин взяты значения случая 8. Вследствие изменения скачка импеданца при различных расстояниях до места короткого замыкания следовало, исходя из предыдущих рассуждений, вводить различные значения реактанцев машин. Приняв, однако, во внимание ненадежность этих допущений, пренебрегаем этим явлением.

Из рассмотрения результатов расчета случаев 10—14 (столбец 11) видно, что как при близких коротких замыканиях (случай 10 и 11),—на 50 kV сборных шинах станции компенсаторов и на расстоянии в 5 km—ток и при большой удаленности короткого замыкания (60 km, случай 14) станции остается в синхронизме; при коротких замыканиях средней удаленности (10, 20 и 40 km, случаи 8, 12 и 13) станции, выпадают из синхронизма. Об'яснение этого неожиданного результата можно получить из данных распределения мощности (столбцы 2 и 3). При близких коротких замыканиях вследствие более значительного падения напряжения уменьшается синхронизирующая мощность N_s (столбец 3), одновременно уменьшается, однако, и независящая от угла рассхождения составляющая мощности компенсаторов (N_{20}, столбец 2), так как при небольшой удаленности короткого замыкания уменьшалось и сопротивление короткозамкнутой цепи и так как вследствие упавшего напряжения уменьшается и мощность, подводимая потребителям.

Уменьшение постоянной составляющей нагрузки N_{20} малой станции мы уже раньше рассматривали как благоприятный фактор для устойчивости. Результаты подсчетов показывают, что при близких коротких замыканиях это благоприятное влияние больше, чем одновременное уменьше[illegible] синхронизирующих сил. Уменьшения нагрузки п[illegible] значительных падениях напряжения можно ож[illegible]дать лишь тогда, когда потребитель имеет имп[illegible]данцный характер, т. е. когда преобладает ос[illegible]тительная или нагрузка сопротивлениями. Ес[illegible] однако, большая часть нагрузки моторная, то т[illegible]кое благоприятное уменьшение нагрузки уже [illegible] может иметь места и при уменьшенном напряж[illegible]нии, в этом случае должна передаваться та [illegible] мощность. Не составляет, впрочем, в основн[illegible] никакого труда учесть аналитически влияние м[illegible]торных потребителей. Для этой цели следу[illegible] только уменьшить положенные в основу расче[illegible] импеданцы потребителей так, чтобы передава[illegible]мая активная мощность была такой же и пр[illegible] уменьшенном напряжении. В этой работе подо[illegible]ный подсчет не производится.

С увеличением удаленности короткого зам[illegible]кания (случаи 12, 8 и 13) увеличиваются и си[illegible]хронизирующие силы (N_s, столбец 3), но сил[illegible]нее растет, однако, независящая от угла расхо[illegible]дения составляющая мощности (N_{20}) станц[illegible] компенсаторов. Из этого следует, что наибол[illegible]шая опасность выпадания из синхронизма налиц[illegible] при коротких замыканиях, имеющих место в опре[illegible]деленной зоне. При дальнейшем увеличении уда[illegible]ленности короткого замыкания опять начинае[illegible] уменьшаться постоянная составляющая нагрузк[illegible] N_{20}, в то время как синхронизирующие сил[illegible] вследствие меньшего падения напряжения увели[illegible]чиваются, таким образом снова приходят в об[illegible]ласть устойчивости, как это имеет место дл[illegible] случая 14 при удаленности короткого замыкани[illegible] в 60 km.

То явление, что нагрузка малой станции пр[illegible] изменении удаленности короткого замыкания, т. е. приключенного импеданца, переходит через максимум, обусловливается внутренним реактанцем источника тока. Подобное положение известно уже давно из техники слабых токов, а именно в виде правила, что источник тока отдает максимальную мощность в том случае, когда его внутреннее сопротивление равно внешнему.

При подсчете случаев 8—14 действующий реактанц машин был принят неизменным. В действительности, однако, вследствие большего скачка импеданца при близких коротких замыканиях можно ожидать большее уменьшение реактанца машин станций компенсаторов. Следствием этого является то, что максимум не зависящей от угла расхождения составляющей мощности (N_{20}, столбец 2) наступает уже при меньших удаленностях короткого замыкания. Вследствие этого опасная зона приближается к малой станции. Рассмотрение влияния этого не производится здесь также и потому, что не говоря уже о ранее упомянутой ненадежности этих допущений, цель настоящих подсчетов заключается в меньшей степени в получении точных количественных соотношений, чем в том, чтобы дать обзор влияния каждого отдельного фактора. Последнее производится лучше всего, когда в сравнительных подсчетах изменяется всякий раз только одно из основных данных.

Последние два случая, 15 и 16, рассматривают двухфазные короткие замыкания на отходящей

Репозиторий БГУИР
www.booksite.ru

линии, а именно случай 15—при удаленности короткого замыкания 5 km, случай 16—при удаленности в 20 km.

Сравнение распределения мощности для первого случая (строка 15, столбец 1—3) с соответствующими значениями при трехфазном коротком замыкании показывает, что постоянная составляющая мощности малой станции (N_{20}, столбец 2) и синхронизирующая мощность (N_s, столбец 3) увеличились примерно одинаково. Следовательно, опасность нарушения устойчивости, что видно из столбцов 9 и 10, практически остается той же.

При удаленности короткого замыкания в 20 km то же сравнение дает следующее (строки 8 и 16): постоянная составляющая N_{20} остается одинаковой как для трех, так и двухфазного короткого замыкания, синхронизирующая мощность N_s, напротив, увеличивается вследствие большего напряжения примерно на 35%. Опасность нарушения устойчивости, следовательно, меньше. В то время как при трехфазном коротком станции выпадают из синхронизма (строка 8, столбцы 9—11), при двухфазном коротком замыкании при той же удаленности параллельная работа не нарушается (строка 16, те же столбцы).

Чтобы иметь возможность судить, в какой степени можно влиять на устойчивость при помощи электрических и механических регуляторов, и далее, можно ли избежать выпадения из синхронизма быстрым отключением поврежденной части сети, должно быть известным протеканием явления во времени. Особый интерес при этом представляет время, необходимое для достижения угла опрокидывания, т. е. угла расхождения между роторами, при котором уже невозможно обратное возвращение в устойчивое положение параллельной работы. Для решения этой задачи необходимо проинтегрировать уравнение движения (2); это произведено для случая 13 способом step by step.

Результаты даны на рис. 4. Здесь даны зависимости от времени угла расхождения между обеими станциями ϑ (угол отставания станции компенсаторов) и скорости изменения этого угла $\frac{d\vartheta}{dt}$. Из рис. 4 следует, что $\frac{d\vartheta}{dt}$ под влиянием синхронизирующих сил, начиная с определенного момента времени (0,2 сек.), уменьшается. Если бы при этом кривая скорости изменения угла $\frac{d\vartheta}{dt}$ достигала бы оси абсцисс, то это означало бы, что станции остаются в синхронизме, так как тогда должно было бы иметь место изменение угла в обратную сторону. В разбираемом случае, однако, как это следует также из соотношения основных величин (сводка, строка 13, столбцы 9 и 10) скорость изменения $\frac{d\vartheta}{dt}$ не достигает нулевого значения; в дальнейшем имеет место повторное увеличение. Повторное увеличение характеризует состояние, в котором станции выпадают из синхронизма. Этот момент времени, как это и сделано на рис. 4, может поэтому быть принят, как момент опрокидывания. Для нашего примера опрокидывание наступает через 0,425 сек. после появления короткого замыкания, соответствующий угол расхождения равен примерно 140°. Полученное время по порядку величины совпадает с данными, приведенными в литературе конференции по высокому напряжению в Париже в 1931 г., что согласно опытам в Швейцарии встречное направление фаз может быть достигнуто через 0,5 сек., а в неблагоприятном случае через 0,1 сек.[1]). На практике могут иметь место и большие промежутки времени, прежде всего, когда качающиеся массы больше, чем в рассматриваемом примере, который в этом отношении особо неблагоприятен (половинный момент инерции). Незначительность времени, по истечении которого наступает опрокидывание, указывает на то, что при увеличении надежности устойчивости помощью быстрого отключения, в отношении быстроты работы защитных устройств и выключателей пред'являются часто весьма трудно выполнимые требования. Точно так же вследствие величины движущихся масс, не всегда легко уменьшить опасность выпадения из синхронизма

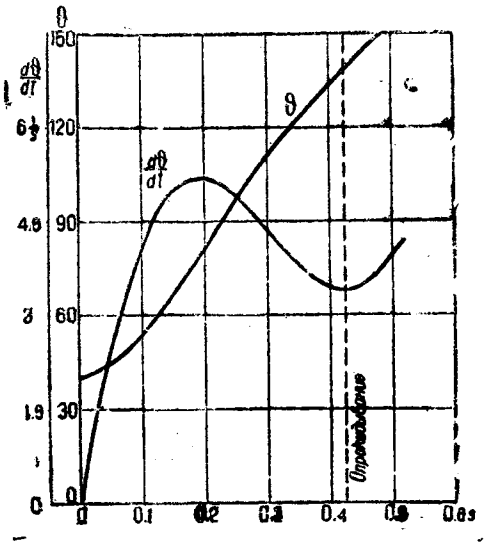


Рис. 4. Угол расхождения и скорость его изменения для случая 13.

быстрым регулированием мощности. Во всех случаях для этого необходимо изменять мощность машин двигателей не в зависимости от числа оборотов, а в зависимости от изменения электрических величин[2]).

Наконец, что касается возможности улучшения помощью электрического регулирования, то требования, вытекающие из незначительности времени опрокидывания, в отношении быстроты регулировки оказываются также слишком высокими, пока находят применение нормальные устройства регулирования. В достаточной мере эти повышенные требования могут быть выполнены лишь специальными быстродействующими устройствами или устройствами для перевозбуждения. О работе подобных устройств приводятся данные в указанных уже выше американских работах. Можно в течение 0,5 сек. довести реактивную мощность компенсатора от величины, соответствующей слабой нагрузке, до величи-

[1]) См. также Barbillion, „Revue General de l'électricite", 1931, стр. 943.

[2]) См. практические предложения для этого Word, Hunt u. Gritscom, „JAIEE".

Российская Государственная Универсальная Научная Библиотека
www.booksite.ru

ны, соответствующей многократной перегрузке. Этим было бы достигнуто в смысле быстроты все необходимое для большинства случаев. Предыдущие исследования показали, однако, что быстродействующее возбуждение, предложенное для улучшения устойчивости, может привести к нежелательным результатам. Увеличение возбуждения компенсаторов содействует, как это показано, выпадению из синхронизма, так как неблагоприятное влияние увеличения нагрузки при аварии превышает достигнутое увеличение синхронизирующих сил.

Есть еще одно основание против перевозбуждения компенсаторов или вообще станций с отстающей э. д. с. Если при какой-либо аварии угол расхождения увеличился до встречного направления фаз и больше, то это может еще и не вести к расстройству параллельной работы. Не исключена возможность, что станции после отключения короткого замыкания сами по с опять войдут в синхронизм, так что дальней выключение масляников не должно иметь мес Повышение же возбуждения затрудняет попа ние станций в синхронизмы [1]). Оно (повыше возбуждения) может оказаться особо небла приятным в случае, если скольжение между п павшими из синхронизма станциями увели вается так сильно, что они (станции) становя независимыми друг от друга в отношении час ты. Следствием этого даже и при неповрежд ной сети являются токи и нагрузки, сходные своему характеру с коротким замыканием, так станции работают с различными частотами взаимные рассеяния машин. На работающей меньшим числом оборотов станции компенсато синхронизирующим мощностям тем труднее п одолеть эту нагрузку, чем выше будет возбу дение.

О расчете токов короткого замыкания и выборе реакторов для их ограничения

Н. Ф. Ракушев
Челябинская гре

В настоящее время при расчете токов короткого замыкания наиболее часто пользуются двумя способами их определения—методом приведенных процентных реактивностей и способом симметричных составляющих, причем этот последний особенно пригоден при расчете однофазных коротких замыканий, т. е. для сетей высокого напряжения с заземленной нейтралью.

Ниже описывается одно из видоизменений способа процентных реактивностей, дающее некоторое сокращение количества необходимых выкладок и упрощающее производство самого расчета. Начнем рассмотрение этого способа с одного из достаточно простых случаев.

1. Пусть (рис. 1) мы имеем электрическую сеть, состоящую из некоторого числа параллельно включенных и одновременно работающих генераторов, повысительных трансформаторов, линий передачи, понизительных трансформаторов и реакторов. Допустим, что в этой сети имеется:

n_g генераторов с мощностью . . . . . g kVA и реактанцем x_g% каждый
n_{t1} повысительных трансформаторов с мощностью . . . . . t_1 „ „ x_{t1}% „
n_l линий передачи с мощностью . . . . . l „ „ x_l% „
n_{t2} понизительных трансформаторов с мощностью . . . . . t_2 „ „ x_{t2}% „
n_r реакторов с мощностью . . . . . r „ „ x_r% „

Допустим далее, что реактанцем вторичных линий передач, итающихся через реакторы, можно пренебречь по сравнению реактанцем реакторов (короткие кабельные линии).

Выбрав в качестве базисной мощность одного генератора и риведя к ней все реактанцы, можем написать для мощности ороткого замыкания в точке A следующее уравнение

$$P = \frac{100}{x_c}\, g. \qquad (1)$$

тоящий в знаменателе реактанц всей системы до точки A, риведенный к мощности одного генератора, будет

$$x_c = \frac{x_g}{n_g} + \frac{x_t\, g}{n_{t1}\, t_1} + \frac{x_l\, g}{n_l\, l} + \frac{x_{t2}\, g}{n_{t2}\, t_2} + \frac{x_r\, g}{n_r\, r}. \qquad (2)$$

В знаменателе второго члена этой суммы стоит величина t_1, представляющая собой произведение из числа повысительных трансформаторов на мощность каждого из них. Следовательно, в данном случае мы имеем полную установленную мощность повысительных трансформаторов или, что правильнее, полную вводимую в расчет мощность их. Точно так $n_l l$—дает нам полную пропускную способность линий передачи, а $n_{t2}\, t_2$ и $n_r\, r$—полную пропускную способность понизительных трансформаторов и реакторов.

Обозначим $n_{t1}\, t_1$ через T_1, $n_l\, l$—через L, $n_{t2}\, t_2$—через $n_r\, r$—через R. Тогда уравнение (2) можно написать в та виде:

$$x_c = \frac{x_g}{n_g} + \frac{x_{t1}\, g}{T_1} + \frac{x_l\, g}{L} + \frac{x_{t2}\, g}{T_2} + \frac{x_r\, g}{R}$$

или, вынося за скобки g и обозначив $n_g\, g$ через G,

$$x_c = g\left(\frac{x_g}{G} + \frac{x_{t1}}{T_1} + \frac{x_l}{L} + \frac{x_{t2}}{T_2} + \frac{x_r}{R}\right).$$

Отсюда совместно с уравнением (1) можно написать мощности короткого замыкания в точке A:

$$P = \frac{100}{\frac{x_g}{G} + \frac{x_{t1}}{T_1} + \frac{x_l}{L} + \frac{x_{t2}}{T_2} + \frac{x_r}{R}}.$$

Рассматривая какой-либо из членов знаменателя этого ура нения, например $\frac{x_g}{G}$, видим, что он представляет собою реактанц одного генератора, разделенный на мощность всех генераторов. Это частное может быть названо поэтому „удельным реактанцем" генераторов. То же самое можно сказать и про остальные части знаменателя. Таким образом уравнение (5) может быть словами выражено следующим образом: „Мощность токов короткого замыкания в данной точке равна частному от деления числа 100 на сумму удельных реактанцев всех элементов электрооборудования, участвующих в передаче энергии от генерирующей станции до этой точки".

В приведенном выше виде уравнение (5) является однако неудобным в обращении, так как удельные реактанцы представляют собою, как правило, малые дробные числа. Поэтому, как это выяснится из дальнейшего, для практических целей более удобно пользоваться обратными величинами, т. е. $\frac{1}{\frac{x_g}{G}} = \frac{G}{x_g}$ и т. д. Каждая из этих величин представляет собою

[1]) См. Rentzel, „AEG-Mitteilungen", H. 7, s. 426.

Волгоградская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ту долю полной установленной мощности генераторов, трансформаторов, линий или реакторов, которая приходится на один процент реактанца каждого из генераторов, трансформаторов и т. д. Величина эта может быть названа „удельной нагрузкой" генераторов, трансформаторов, линий или реакторов. Обозначив величину $\frac{1}{\frac{x_g}{G}} = \frac{G}{x_g}$ через G_0, $\frac{T_1}{x_{t1}}$ через T_{01} и т. д., получим из уравнения (5) следующее:

$$P = \frac{100}{\frac{1}{G_0} + \frac{1}{T_{01}} + \frac{1}{L_0} + \frac{1}{T_{02}} + \frac{1}{R_0}}, \qquad (6)$$

т. е. мощность короткого замыкания в данной точке равна частному от деления числа 100 на сумму обратных величин удельных нагрузок всех частей оборудования, участвующих в передаче энергии до данной точки.

На практике удобнее пользоваться уравнением (6), если числитель и знаменатель умножить на 10 000. В этом случае

$$P = \frac{1\,000000}{\frac{10\,000}{G_0} + \frac{10\,000}{T_{01}} + \frac{10\,000}{L_0} + \frac{10\,000}{T_{02}} + \frac{10\,000}{R_0}}$$

и знаменателе не получается чрезмерно малых дробных чисел.

При выводе предыдущих уравнений мы предполагали, что каждая из частей электрической цепи (т. е. все генераторы или все трансформаторы и т. д.) состоит из единиц одинаковой мощности. Допустим теперь, что, например, в числе повысительных трансформаторов имеются единицы разной мощности:

n_{t1}' трансформаторов по t_1' kVA каждый,

n_{t1}'' трансформаторов по t_1'' kVA каждый.

Для простоты рассмотрим только цепь, состоящую из генераторов, повысительных трансформаторов и линий передачи. В этом случае мощность короткого замыкания будет

$$P = \frac{100\,g}{\frac{x_g}{n_g} + X + \frac{x_l \cdot g}{n_l \cdot l}}, \qquad (7)$$

где буквой X обозначена величина реактанца повысительных трансформаторов. Так как по условию у нас имеется две группы повысительных трансформаторов разной мощности, то, чтобы найти результирующий реактанц, необходимо сначала сложить обратные величины каждого из реактанцев. Обратное значение полученной суммы даст искомый реактанц. Поэтому

$$X = \frac{1}{\frac{1}{\frac{x_{t1}' \cdot g}{n_{t1}' \cdot t_1'}} + \frac{1}{\frac{x_{t1}'' \cdot g}{n_{t1}'' \cdot t_1''}}}. \qquad (8)$$

Отсюда, пользуясь ранее принятыми обозначениями, можно получить:

$$X = \frac{1}{\frac{1}{\frac{x_{t1}'}{T_1'} g} + \frac{1}{\frac{x_{t1}''}{T_1''} g}} = \frac{\frac{x_{t1}' \, x_{t1}''}{T_1' \cdot T_1''} g^2}{\frac{T_1' \cdot x_{t1}'' + T_1'' \cdot x_{t1}'}{T_1' \cdot T_1''} g} =$$

$$= \frac{x_{t1}' \, x_{t1}'' \cdot g}{T_1'' \, x_{t1}'' + T_1' \cdot x_{t1}'} = \frac{g}{\frac{T_1'}{x_{t1}'} + \frac{T_1''}{x_{t1}''}} =$$

$$= \frac{g}{T_{01}' + T_{01}''}. \qquad (9)$$

Так как по выведенному ранее

$$= \frac{x_l \cdot g}{n_l \, l} = \frac{g}{L_0},$$

то из (7) и (9) можно получить

$$P = \frac{100\,g}{\frac{x_g}{n_g} + \frac{g}{T_{01}' + T_{01}''} + \frac{g}{L_0}},$$

откуда окончательно:

$$P = \frac{100}{\frac{1}{G_0} + \frac{1}{T_{01}' + T_{01}''} + \frac{1}{L_0}}. \qquad (10)$$

Вполне очевидно, что наши выводы применены к любой части электрической цепи, а не к одним только повысительным трансформаторам. Поэтому для электрической цепи, каждая часть которой состоит из любого количества генераторов, трансформаторов, линий и реакторов неодинаковой мощности, можно написать

$$P = \frac{100}{\frac{1}{G_0' + G_0'' + \ldots} + \frac{1}{T_{01}' + T_{01}'' + \ldots} + \frac{1}{L_0' + L_0'' + \ldots} + \frac{1}{T_{02}' + T_{02}'' + \ldots} + \frac{1}{R_0' + R_0'' + \ldots}} \qquad (11)$$

Рассмотрим несколько частных случаев.

А. Схема генератор-трансформатор

Это часто встречающееся на практике соединение (рис. 2) имеет смысл только при одинаковых мощностях генератора и связанного с ним непосредственно трансформатора. Для данного случая мощность короткого замыкания в точке A определится из уравнения:

$$P_A = \frac{100\,g}{\frac{x_g}{n_g} + \frac{x_{t1}}{n_{t1}}} = \frac{100}{\frac{x_g}{n_g\,g} + \frac{x_{t1}}{n_{t1}\,g}}. \qquad (12)$$

Так как количество генераторов равно количеству трансформаторов, причем мощности их равны, то

$$n_g \cdot g = n_{t1} \cdot g = G.$$

Следовательно,

$$P_A = \frac{100}{\frac{x_g + x_{t1}}{G}} = \frac{100}{\frac{1}{G_0}}. \qquad (13)$$

Таким образом для схемы генератор-трансформатор удельная нагрузка рассчитывается как частное от деления всей вводимой в расчет мощности генераторов на сумму реактанцев генератора и трансформатора:

$$G_0 = \frac{G}{x_g + x_{t1}}. \qquad (14)$$

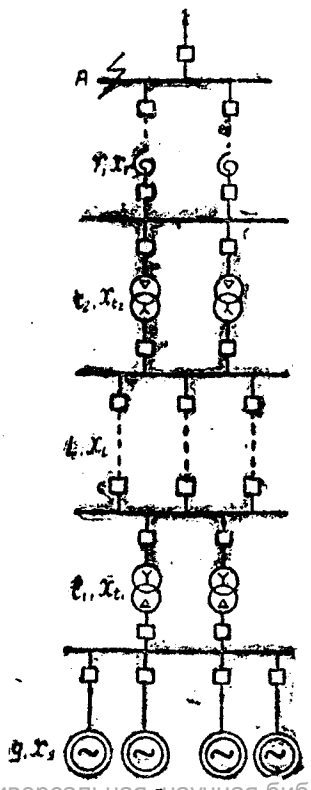


Рис. 1

Б. Схема генератор-трансформатор

Данная схема (рис. 2) опять-таки имеет смысл только при равенстве мощностей генератора и реактора. Для нее, очевидно, справедливы все вышеприведенные соображения по поводу схемы генератор-трансформатор. Поэтому

$$P_B = \frac{100\,g}{\frac{x_g}{n_g} + \frac{x_r}{n_r}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{x_g + x_r}{G}} = \frac{100}{\frac{1}{G_0}}, \qquad (15)$$

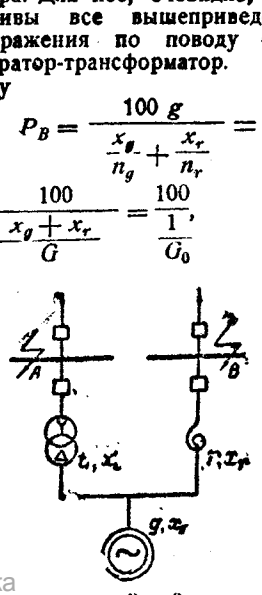


Рис. 2

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

причем

$$G_0 = \frac{G}{x_g + x_r}. \qquad (16)$$

В. Кольцевые линии

Обычно, когда при расчете токов короткого замыкания приходится сталкиваться с кольцевыми линиями, их преобразовывают в радиальные по формулам перехода от включения треугольником к включению звездой. Если же воспользоваться вышепринятыми понятиями удельных нагрузок или отдельных реактансов, то можно предложить несколько иной способ преобразования таких линий. Рассмотрим для примера сеть, изображенную на рис. 3. Мощность короткого замыкания в точке A будет зависеть от реактансов или удельных нагрузок каждого из лучей сети. Предположим, что в точке G находится генераторная станция бесконечно большой мощности и что, следовательно, реактансами генераторов и повысительных трансформаторов можно пренебречь. Каждый из лучей сети может пропустить некоторый определенный ток короткого замыкания, и полный ток короткого замыкания в точке A определится, как сумма этих частных токов. Следовательно, полная мощность короткого будет

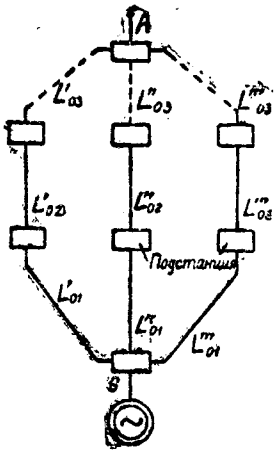


Рис. 3

$$P_A = \frac{100}{\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots} + \frac{100}{\frac{1}{L_{01}''} + \frac{1}{L_{02}''} + \frac{1}{L_{03}''} + \dots} + \frac{100}{\frac{1}{L_{01}'''} + \frac{1}{L_{02}'''} + \frac{1}{L_{03}'''} + \dots} \qquad (17)$$

Уже пользуясь этим уравнением, можно определить искомую величину P_A, после чего по ней вычислить удельную нагрузку всей сети для точки A. Однако можно сразу найти приведенную величину удельной нагрузки данной разветвленной сети и заменить последнюю простой одиночной линией.

В самом деле, уравнение (17) после приведения к общему знаменателю можно переписать в следующем виде:

$$P_A = 100\,\frac{\left(\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots\right) + \left(\frac{1}{L_{01}''} + \frac{1}{L_{02}''} + \frac{1}{L_{03}''} + \dots\right) + \left(\frac{1}{L_{01}'''} + \frac{1}{L_{02}'''} + \frac{1}{L_{03}'''} + \dots\right)}{\left(\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots\right)\cdot\left(\frac{1}{L_{01}''} + \frac{1}{L_{02}''} + \frac{1}{L_{03}''} + \dots\right)\cdot\left(\frac{1}{L_{01}'''} + \frac{1}{L_{02}'''} + \frac{1}{L_{03}'''} + \dots\right)} =$$

$$= \frac{1}{\frac{\left(\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots\right) + \left(\frac{1}{L_{01}''} + \frac{1}{L_{02}''} + \frac{1}{L_{03}''} + \dots\right) + \left(\frac{1}{L_{01}'''} + \frac{1}{L_{02}'''} + \frac{4}{L_{03}'''} + \dots\right)}{\left(\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots\right)\cdot\left(\frac{1}{L_{01}''} + \frac{1}{L_{02}''} + \frac{1}{L_{03}''} + \dots\right)\cdot\left(\frac{1}{L_{01}'''} + \frac{1}{L_{02}'''} + \frac{1}{L_{03}'''} + \dots\right)}}$$

Обозначим сумму удельных реактансов, относящихся к лучу I нашей сети, через $\sum \frac{1}{L_{0I}}$, т. е.

$$\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots = \sum \frac{1}{L_{0I}}.$$

В таком случае приведенная удельная нагрузка всей сети, как это следует из равенства

$$P_A + \frac{100}{\frac{1}{\sum \frac{1}{L_{0I}} + \sum \frac{1}{L_{0II}} + \sum \frac{1}{L_{0III}}}}, \qquad (19)$$

$$\sum \frac{1}{L_{0I}} \cdot \sum \frac{1}{L_{0II}} \cdot \sum \frac{1}{L_{0III}}$$

будет равна

$$L_0^* = \frac{\sum \frac{1}{L_{0I}} + \sum \frac{1}{L_{0II}} + \sum \frac{1}{L_{0III}}}{\sum \frac{1}{L_{0I}} \cdot \sum \frac{1}{L_{0II}} \cdot \sum \frac{1}{L_{0III}}}. \qquad (20)$$

Для более простого случая, когда линия представляет замкнутое кольцо без диаметральных или хордовых соединений, уравнение (20) можно написать и в таком виде:

$$L_0^* = \frac{1}{\frac{1}{L_{01}'} + \frac{1}{L_{02}'} + \frac{1}{L_{03}'} + \dots} + \frac{1}{\frac{1}{L_{01}''} + \frac{1}{L_{02}''} + \frac{1}{L_{03}''} + \dots} = \frac{1}{\sum \frac{1}{L_{0I}}} + \frac{1}{\sum \frac{1}{L_{0II}}}.$$

Подставляя найденное значение L^*_0 в уравнение (6), мо определить мощность короткого замыкания в точке A учетом состояния всей сети в целом, включая и генерато станции. Вообще говоря, все величины, входящие в ура ние (6), можно рассматривать как приведенные, и в этом чае написать его в таком виде:

$$P = \frac{100}{\frac{1}{G_0^*} + \frac{1}{T_{01}^*} + \frac{1}{L_c^*} + \frac{1}{T_{02}^*} + \frac{1}{R_0^*}}.$$

При этом приведенная удельная нагрузка нескольких ге раторов, работающих непосредственно на общие собира ные шины, вычисляется как сумма удельных нагрузок отд ных машин. В более сложных случаях приходится спе находить мощности короткого замыкания, даваемые на об шины каждой группой машин в отдельности, а затем, сло их, вычислять обратным путем приведенную удельную нагру всей генерирующей установки в целом. Это же можно з зать и относительно вычисления удельных нагрузок для вокупности трансформаторов или реакторов. Что каса линий электропередачи, то удельные нагрузки для линий и се в целом удается вычислить только для некоторых простей случаев. Наиболее элементарные из них были разобраны ше. Удельные нагрузки различных участков сети вычисля в зависимости от имеющегося в ней токораспределения торое находится или путем электрического расчета для проектируемой, или непосредственным измерением в сети ществующей). Для более сложных и запутанных сетей бо простым решением будет расчет токов короткого замык на модели.

Прежде чем перейти к рассмотрению вопроса о спос выбора реакторов для ограничения мощности короткого мыкания, проследим на примере полный ход расчета.

Пример I. Определить мощность короткого замык через 0,25 сек. на шинах 110 kV Свердловской подста применительно к схеме сети, указанной в рис. 4. Показан

на рисунке реактансы отдельных частей системы взяты электрического расчета сети и фирменных данных.

Мощность короткого замыкания на шинах 110 kV Сверловска определится как сумма мощностей короткого, дава мых Челябинской районной электростанцией (Чгрэс), комп саторами Златоуста и компенсаторами Свердловска. Эти составляющих вычислим по отдельности. Сначала находи приведенную удельную нагрузку Чгрэс на шинах 110 kV, чего вычисляем мощности короткого, даваемые на шины 110 каждой из нижеследующих генерирующих групп:

а) два генератора собственных нужд по 3 750 kVA чер два трансформатора 10/3 kV по 4 000 kVA, далее через ре тор 10 kV и через повысительный трансформатор 30 000 kV генератора № 4;

б) главные генераторы № 1, 2 и 3 через свои реактор затем через реактор генератора № 4 и его повысительны трансформатор;

в) генераторы № 4, 5 и 6 через свои повысительные тра форматоры.

По найденной таким образом суммарной мощности кор кого определяем приведенную удельную нагрузку всей сти ции на шинах 110 kV, а затем, вычислив удельные нагруз

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

кольцевой линии (приведенные) и лучевой линии 110 kV, нам и мощность короткого от Чгрэс на Свердловской подстанции. Условимся в целях сокращения письма обозначить 1000 000 буквой M, а 10 000—буквой $Д$.

Итак, по данным, написанным на рис. 4,

$$P_{110\,AB} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,AB}} + \frac{1}{T_{0\,ав}} + \frac{1}{R_{04}} + \frac{1}{T_{04}}} = \frac{M}{\frac{Д}{469} + \frac{Д}{769} + \frac{Д}{4\,310} + \frac{Д}{2\,630}} = \frac{M}{21{,}3 + 13 + 2{,}37 + 3{,}8} = 24\,800 \text{ kVA};$$

$$P_{110\,(123)} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,(123)}} + \frac{1}{R_{04}} + \frac{1}{T_{04}}} = \frac{M}{\frac{Д}{3\,920} + \frac{Д}{4\,310} + \frac{Д}{2\,630}} = \frac{M}{8{,}67} = 115\,300 \text{ kVA};$$

$$P_{110\,(456)} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,(456)}}} = \frac{M}{\frac{Д}{3\,280}} = \frac{M}{3{,}05} = 328\,000 \text{ kVA}.$$

Здесь $G_{0\,(123)}$ и $G_{0\,(456)}$ взяты сразу для генераторов с учетом реакторов и соответственно трансформаторов, так как таковые соединены непосредственно [уравнения (14) и (16)].

Общая мощность короткого замыкания на шинах 110 kV Чгрэс $P_{110\,Ч} = 24\,800 + 115\,300 + 328\,000 = 468\,100$ kVA, отсюда приведенная удельная нагрузка Чгрэс на шинах 110 kV

$$G_{0\,Ч} = \frac{468\,100}{100} = 4\,681 \text{ kVA/1\%}.$$

Удельная нагрузка кольцевой линии по уравнению (21):

$$L^*_{0\,ч} = \frac{1}{\frac{1}{L_{0\,I}} + \frac{1}{\frac{1}{L_{0\,IV}} + \frac{1}{L_{0\,III}} + \frac{1}{L_{0\,II}}}} = \frac{Д}{\frac{Д}{7\,780} + \frac{Д}{\frac{Д}{2\,740} + \frac{Д}{5\,360} + \frac{Д}{8\,270}}} = \frac{D}{1{,}29} = \frac{Д}{3{,}65 + 1{,}86 + 1{,}21} = 7\,750 + 1\,490 = 9\,240 \text{ kVA/1\%}.$$

Мощность короткого от Чгрэс на Свердловской подстанции

$$P_{Св\,Ч} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,Ч}} + \frac{1}{L^*_{0\,Ч}} + \frac{1}{L_{0\,V}}} = \frac{M}{\frac{Д}{4\,681} + \frac{Д}{9\,240} + \frac{Д}{4\,130}} = \frac{M}{5{,}64} = 177\,300 \text{ kVA}.$$

Теперь вычислим мощность короткого от Златоустовской подстанции. Удельная нагрузка кольцевой линии для течения тока из Златоуста по уже определенным данным:

$$L^*_{0\,Зл} = \frac{1}{\frac{1}{L_{0\,IV}} + \frac{1}{L_{0\,I}}} + \frac{1}{\frac{1}{L_{0\,III}} + \frac{1}{L_{0\,II}}} = \frac{Д}{3{,}65 + 1{,}29} + \frac{Д}{1{,}86 + 1{,}21} = 2\,030 + 3\,260 = 5\,290 \text{ kVA/1\%}.$$

Мощность короткого в Свердловске от Златоустовской подстанции

$$P_{Св\,Зл} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,Зл}} + \frac{1}{T_{0\,Зл}} + \frac{1}{L^*_{0\,Зл}} + \frac{1}{L_{0\,V}}} = \frac{M}{\frac{Д}{1\,125} + \frac{Д}{2\,970} + \frac{Д}{5\,290} + \frac{Д}{4\,130}} = \frac{M}{16{,}59} = 60\,400 \text{ kVA}.$$

Наконец, свердловские компенсаторы дадут:

$$P_{Св\,Св} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,Св}} + \frac{1}{T_{0\,Св}}} = \frac{M}{\frac{Д}{1\,125} + \frac{Д}{2\,970}} = \frac{M}{12{,}27} = 81\,500 \text{ kVA}.$$

Следовательно, общая мощность короткого замыкания на шинах 110 kV Свердловской подстанции будет

$$P_{110\,Св} = P_{Св\,Ч} + P_{Св\,Зл} + P_{Св\,Св} = 177\,300 + 60\,400 + 81\,500 = 319\,200 \text{ kVA}.$$

Этой величине соответствует приведенная удельная нагрузка всей рассмотренной сети, отнесенная к шинам 110 kVA Свердловска:

$$G^*_{0\,110\,Св} = \frac{319\,200}{100} = 3\,192 \text{ kVA/1\%}.$$

Пользуясь этим значением G_0, можно было бы произвести расчет токов короткого и дальше—для среднеуральской сети 110 kV с учетом работающих там станций и т. д., пока не будет принята во внимание вся электрическая сеть Урала.

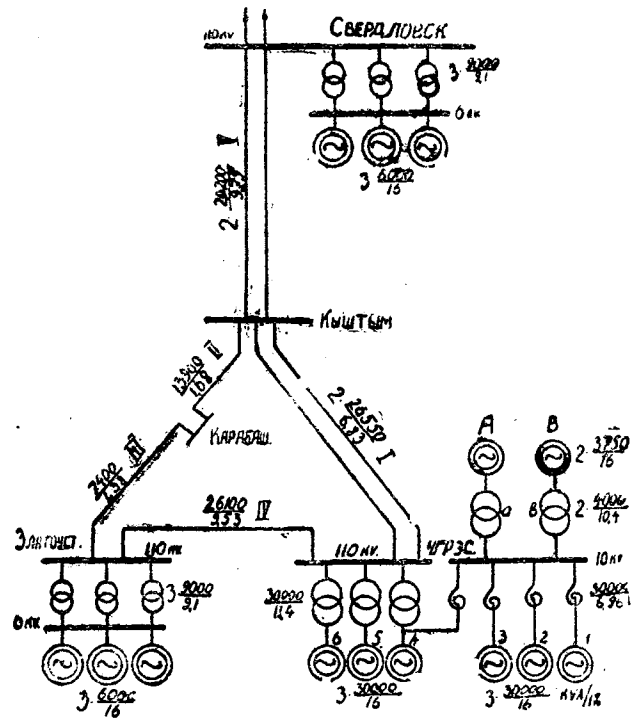


Рис. 4. В числителе мощность выражена в kVA, в знаменателе реактанц в процентах

Перейдем теперь к рассмотрению вопроса о выборе реакторов для ограничения токов короткого замыкания. Возьмем какую-нибудь понизительную подстанцию, приключаемую к мощной генерирующей системе. В этом случае, если пренебречь реактанцем этой системы, мощность короткого на линиях, отходящих от данной подстанции, будет определяться только реактивностью понизительных трансформаторов и реакторов. Следовательно, можно написать

$$P = \frac{100}{\frac{1}{T_{02}} + \frac{1}{R_0}}. \qquad (22)$$

В этом равенстве величина P задается обыкновенно предельной разрывной мощностью масляных выключателей. Величина T_{02} также известна, так как она зависит от реактанца и мощности трансформаторов, имеющихся на данной подстанции. Следовательно, удельная нагрузка реакторов может быть легко определена. Для упрощения вычислений удобнее переписать уравнение (22) в таком виде:

$$P = \frac{100\,T_{02}}{1 + \frac{T_{02}}{R_0}}. \qquad (23)$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

При этом величина, стоящая в числителе, представляет собою ту предельную мощность короткого замыкания, которую могут пропустить через себя установленные на рассматриваемой подстанции понизительные трансформаторы. В этом легко убедиться, если переписать числитель следующим образом:

$$100\,T_{02} = \frac{100}{\frac{x_{t2}}{n_{t2}}}\,t_2, \qquad (24)$$

где обозначения те же, что и в уравнении (2). Поэтому можно написать:

$$P = \frac{P_{max}}{1 + \frac{T_{02}}{R_0}} = \frac{P_{max}}{K}. \qquad (25)$$

Определив из этого уравнения удельную нагрузку реактора R_0 и зная передаваемую потребителю мощность P_p в киловольтамперах, можно найти и реактанц реакторов

$$x_r\% = \frac{P_p}{R_0}. \qquad (26)$$

Поясним сказанное примером.

Пример 2. Потребитель, приключенный к районной подстанции, требует, чтобы ток короткого замыкания в его силовой сети не превышал 100 MVA. Дано: мощность трансформаторов районной подстанции 2×10 MVA (110/6,6 kV), при реактанце каждого $x_t = 10\%$. Нагрузка потребителя 7,5 MVA. Мощность районной сети настолько велика, что ее реактивностью можно пренебречь по сравнению с реактанцем трансформаторов.

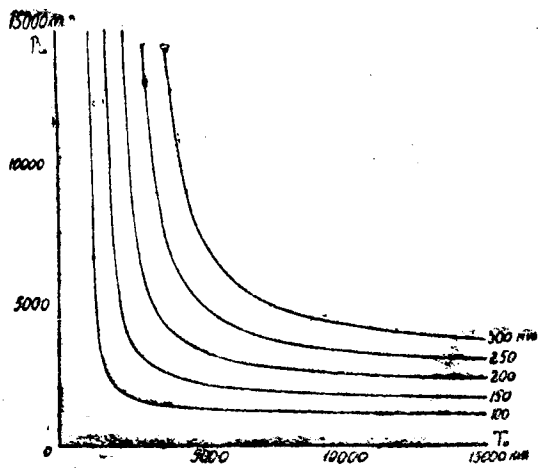


Рис. 5. Кривые для выбора реакторов

Находим удельную нагрузку трансформаторов

$$T_{02} = \frac{2 \cdot 1}{10} = 2 \text{ MVA/1\%}.$$

Наибольшая мощность короткого на данной подстанции будет

$$P_{max} = 100\,T_{02} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ MVA},$$

следовательно,

$$K = 1 + \frac{T_{02}}{R_0} = \frac{P_{max}}{P} = \frac{200}{100} = 2,$$

откуда

$$\frac{T_{02}}{R_0} = 1$$

и

$$R_0 = T_{02} = 2 \text{ MVA/1\%}.$$

Это значит, что на каждой линии в 6 kV, идущей от подстанции к рассматриваемому потребителю (совершенно независимо от количества этих линий—будет ли их несколько десятков или только одна—лишь бы их суммарная пропускная способность не превышала 7,5 MVA), необходимо установить реакторы с реактивностью

$$x_r = \frac{P_p}{R_0} = \frac{7,5}{2} = 3,75\%.$$

Из уравнения (22) можно извлечь еще несколько полезных для практики сведений. Если представить его графически, то для каждой заданной наперед мощности короткого замыкания P можно построить кривую, наглядно показывающую ную связь между удельными нагрузками T_{02} и R_0. При такое построение для нескольких значений P, можно чить семейство кривых, изображенное на рис. 5. Пользуясь этой диаграммой, можно сразу находить по имеющейся ной нагрузке T_{02} величину удельной нагрузки, а следовательно, и реактанц реакторов, необходимых для ограничения токов короткого замыкания до заданной величины. Так пример, для определенной в примере 2 величины $T_{02} = 2$ находим сразу по диаграмме

$$R_0 = 2 \text{ MVA}.$$

Уравнение (22) можно переписать в следующем виде:

$$\frac{P}{100\,T_{02}} + \frac{P}{100\,R_0} = 1,$$

откуда следует, что рассматриваемые кривые имеют а тоты

$$T_{0\Delta} = \frac{P}{100} \quad \text{и} \quad R_{0\Delta} = \frac{P}{100},$$

численные значения которых между собою равны.

Каков физический смысл этих асимптотических зна удельных нагрузок?

Рассмотрим сперва первое из них, т. е. $T_{0\Delta} = \frac{P}{100}$, значению соответствует $R_0 = \infty$, откуда, так как $= \frac{n_r r}{x_r}$, следует, что реактанц реактора x_r равен нулю

Следовательно, в этом случае не требуется установки каких реакторов, ибо и без них мощность короткого за ния не превысит заданной величины.

Таким образом можно высказать следующее положение:

1. Если удельная нагрузка трансформато на данной подстанции не превышает одн процента от разрывной мощности установ ных на ней масляников, то для защиты пос них никаких реакторов не требуется.

Важно запомнить, что и для всей вторичной сети, пи щейся от такой подстанции (если, конечно, эта сеть пол энергию только от одной рассматриваемой подстанции), сказанное положение остается справедливым.

Обратимся теперь к рассмотрению второго предел значениям $R_{0\Delta} = \frac{P}{100}$, чему соответствует $T_{02} = \infty$, а это чит, если вспомнить равенство $T_{02} = \frac{n_2 t_2}{x_{t2}}$, что реа трансформаторов равен нулю. Наш потребитель, таким зом, в этом предельном случае будет включен в сеть б нечно большой мощности только через реактор без по тельного трансформатора и, тем не менее, мощность корот замыкания у него не превысит заданной величины P. С вательно, можно сказать:

2. Масляный выключатель, стоящий в це цепи, огражденной реактором, никогда чае короткого не будет перегружен, е удельная нагрузка реактора не превы одного процента от разрывной мощности ного масляника.

В примере 2 мы рассмотрели вопрос о присоединени требителя с масляниками в 100 MVA к районной подста Если бы на этой подстанции устанавливался только трансформатор мощностью $t_2 = 10$ MVA, то удельная наг его была бы

$$T_{02} = \frac{10}{10} = 1 \text{ MVA/1\%}$$

и потребитель мог бы обойтись без реакторов, так как дельное значение $T_{0\Delta}$ не было бы превзойдено, а мощ короткого не превысила бы

$$P = \frac{100}{x_{t2}}\,t_2 = 100\,T_{02} = 100 \text{ MVA}.$$

С другой стороны, если бы этот же потребитель со нагрузкой $P_p = 7,5$ MVA должен был бы включиться в о сеть очень большой мощности, то он должен был бы тить свою установку реактором с удельной нагрузкой $= 1$ MVA/1%, чему соответствует реактанц

$$x_r = \frac{P_p}{R_0} = \frac{7,5}{1} = 7,5\%.$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ощность короткого была бы тогда

$$P = \frac{100}{7,5} \cdot 7,5 = 100 \text{ MVA},$$

е. опять-таки не превзошла бы заданной величины. Конечно, реактор должен быть рассчитан таким образом, чтобы н мог выдержать те динамические и термические нагрузки, орым он при этих условиях работы может подвергнуться. Из всего сказанного следует, что всякий потребитель, устанавливший на своих питательных линиях реакторы, отвечающие ребованиям вышеприведенного правила, может совершенно позабыть о существовании районной сети и районной подстанции, так как никакие изменения в генерирующей мощности сети ли в мощности трансформаторов подстанции не будут иметь никакого влияния на величину токов короткого замыкания его силовой сети. Только изменения в пропускной способности питательных линий, если таковая превысит первоначальную свою величину, принятую за основу при выборе реакторов, могут отразиться на величине токов короткого. Однако эти изменения предвидеть для потребителя гораздо легче, нежели рост и развитие районной сети, к которой он присоединяется. Следовательно, и выбор реакторов потребитель может произвести с полным учетом своих собственных внутренних изменений и предстоящего расширения своей установки. Такой образ действий может оказаться уместным в случаях ожидаемого очень быстрого возрастания генерирующей мощности в районной сети, которое не всегда можно предвидеть с достаточной точностью в энергетических планах.

То понятие об удельной нагрузке, которое было придано значение T_{02} в уравнении (22) можно расширить и подразумевать под T_{02} удельную нагрузку не одной какой-либо группы трансформаторов, а приведенную нагрузку

$$T^*_{02} = T'_{02} + T''_{02} + T'''_{02} + \dots$$

Точно так же можно положить и

$$R_0 = R^*_0 = R'_0 + R''_0 + R'''_0 + \dots$$

Уравнение (22) тогда перепишется следующим образом:

$$P = \frac{100}{\frac{1}{T^*_{02}} + \frac{1}{R^*_0}}. \qquad (29)$$

Это соответствует случаю, когда рассматриваемая точка торичной сети питается через фидеры с установленными на них реакторами от целого ряда трансформаторных подстанций. Кривые, изображенные на рис. 5, очевидно, будут действительны и для этого случая, точно так же, как и все предыдущие соображения относительно разрывных мощностей масляных выключателей и выбора реакторов.

Наконец, расширив еще более понимание величины T_{02}, можно положить

$$T_{02} = S^*_0, \qquad (30)$$

где S^*_0—приведенная удельная нагрузка всей энергетической системы, питающей рассматриваемую точку. Тогда

$$P = \frac{110}{\frac{1}{S^*_0} + \frac{1}{R^*_0}}. \qquad (31)$$

Причем опять-таки все предыдущие соображения остаются в силе и для этого обобщенного уравнения, точно так же, как и кривые рис. 5, если только помнить при пользовании ими о произведенной замене понятий (S^*_0 вместо T_{02}). Для разъяснения всего сказанного проделаем примерный расчет токов короткого замыкания и выбор реакторов.

Пример 3. По данным, приведенным в примере 1, рассчитывать токи короткого замыкания и реакторную защиту для потребителя, присоединяющегося к шинам 6 kV Свердловской подстанции, при условии, чтобы предельная мощность короткого в сети такового не превосходила 100 000 kVA. Предельная нагрузка потребителя $P_p = 10$ kVA. Мощность короткого на шинах 6 kV Свердловской подстанции, даваемая Чгрэс,

$$P^{Cв}_{6Ч} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,Ч}} + \frac{1}{L^*_{0\,Ч}} + \frac{1}{L_{0\,V}} + \frac{1}{T_{0\,Cв}}} = \frac{M}{\frac{Д}{4\,681} + \frac{Д}{9\,240} + \frac{Д}{4\,130} + \frac{Д}{2\,970}} = \frac{M}{8,99} = 111\,200 \text{ kVA}.$$

Мощность короткого от Златоустовской подстанции

$$P^{Cв}_{6Зл} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,Зл}} + \frac{1}{T_{0\,Зл}} + \frac{1}{T^*_{0\,Зл}} + \frac{1}{L_{0\,V}} + \frac{1}{T_{0\,Cв}}} = \frac{M}{\frac{Д}{1\,125} + \frac{Д}{2\,970} + \frac{Д}{5\,970} + \frac{Д}{4\,130} + \frac{Д}{2\,970}} = \frac{M}{19,73} = 50\,600 \text{ kVA}.$$

Мощность короткого от компенсаторов Свердловской подстанции:

$$P^{Cв}_{6Cв} = \frac{100}{\frac{1}{G_{0\,Cв}}} = \frac{M}{\frac{Д}{1\,125}} = \frac{M}{8,89} = 112\,500 \text{ kVA}.$$

Полная мощность короткого на шинах 6 kV Свердловска:

$$P^{Cв}_6 = P^{Cв}_{6Ч} + P^{Cв}_{6Зл} + P^{Cв}_{6Cв} = 111\,200 + 50\,600 + 112\,500 = 274\,300 \text{ kVA}.$$

Удельная нагрузка системы

$$S^*_{06} = \frac{274\,300}{100} = 2\,743 \text{ kVA/1\%}.$$

По кривой рис. 5 для $P = 100$ MVA находим, что вышеприведенному значению S^*_{06} соответствует $R_0 \gtrsim 1\,500 \div 1\,600$ kVA/1%. Выбирается ближайшее меньшее значение, т. е.

$$R_0 = 1\,500 \text{ kVA/1\%}.$$

Отсюда реактанц реакторов

$$x_r = \frac{P_p}{R_0} = \frac{10\,000}{1\,500} = 6,66\%.$$

Возьмем реакторы с реактивностью 6,5%. Тогда удельная нагрузка их будет

$$R_0 = \frac{10\,000}{6,5} = 1\,540 \text{ kVA/1\%}$$

и мощность короткого у потребителя

$$P = \frac{100}{\frac{1}{S^*_{06}} + \frac{1}{R_0}} = \frac{M}{\frac{Д}{2\,743} + \frac{Д}{1\,540}} = \frac{M}{10,13} = 98\,600 \text{ kVA}.$$

В этом примере мощность короткого была вычислена для одного момента времени. Проделав подобный расчет для трех моментов соответственно мгновенному, синхронному и установившемуся реактанцам генераторов, можно получить полную картину протекания процесса короткого замыкания во времени, и, следовательно, рассчитать нагрев кабелей и проводов. Учитывая наглядность и сравнительную простоту расчетов, такой способ действия не может быть сколько-нибудь обременительным. Но можно воспользоваться также и кривыми (или таблицами), дающими коэфициенты короткого замыкания, приведенными, например, в книге Вальтьена „Электрические станции трехфазного тока" (изд. 1931 г., стр. 34—35). Для этого необходимо вычислить реактанц системы, который находится по приведенной удельной нагрузке системы S^*_0 и суммарной мощности генераторов, приключенных к данной системе Σg. Следовательно, реактанц системы будет равен

$$x_e + \frac{\Sigma g}{100\,S^*_0} 100. \qquad (32)$$

Зная x_e и время, протекшее с момента короткого замыкания, определяем по кривым коэфициент короткого замыкания f_k и мощность короткого

$$P = f_k \cdot \Sigma g. \qquad (33)$$

Так, для примеров 1 и 3

$$\Sigma g = 6 \cdot 30\,000 + 2 \cdot 3\,750 + 3 \cdot 6\,000 + 3 \cdot 6\,000 = 223\,500 \text{ kVA}.$$

$$x_e = \frac{223\,500}{100 \cdot 2\,743} = 61,5\%.$$

Для этого значения x_e и $t = 0,25$ сек. находим по кривой на фиг. 29 книги Вальтьена (стр. 34)

$$f_k \gtrsim 11$$

и

$$P = 1,1 \cdot 2\,235 = 246 \text{ MVA}.$$

По сравнению с проделанным ранее расчетом, ошибка получилась около 10% в сторону преуменьшения.

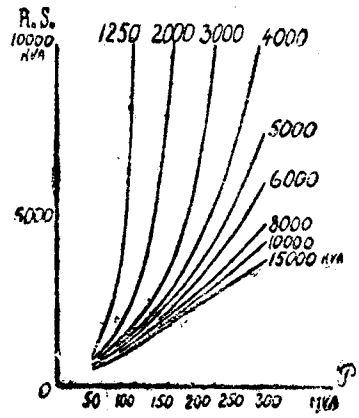
В связи со всем вышесказанным положение 1 можно теперь сформулировать в следующем обобщенном виде:

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Если приведенная удельная нагрузка системы в данной точке сети не превышает 1% от разрывной мощности установленных в этой точке масляников, то защищать последние реакторы не требуется.

Следует иметь в виду, что так как кривые достигают своих асимптотических значений крайне медленно, то, выбирая масляные выключатели и реакторы по этим предельным значениям, мы тем самым уже производим выбор с запасом, в худшем случае, порядка 10%.

В уравнении (31) не было принято во внимание сопротивление линий электропередачи, идущих от главной подстанции к потребителю. Если бы потребовалось учесть их влияние, то это легко сделать, введя в уравнение еще один член $\frac{1}{L^*_{02}}$, который следует прибавить к сумме слагаемых, стоящих в знаменателе. С другой стороны, может понадобиться установка дополнительных реакторов на потребительской подстанции, если, например, реактанц реакторов на главной подстанции получается чрезмерно большим. В этом случае целесообразно установить на главной подстанции реакторы с такой реактивностью, какая здесь требуется по условиям защиты фидерных масляников или линий, а у потребителя на его распределительных линиях поставить дополнительные реакторы, цель которых защитить масляники и проводку его внутренней силовой сети. Эти дополнительные реакторы могут быть учтены введением еще одного слагаемого в уравнение (31) $\frac{1}{R^*_{02}}$, и окончательно его можно переписать следующим образом:



6. Кривые для выбора реакторов и масляных выключателей

$$P = \frac{100}{\frac{1}{S^*_0} + \frac{1}{R^*_{01}} + \frac{1}{L^*_{02}} + \frac{1}{R^*_{02}}}. \qquad (34)$$

Если бы ток короткого потребовалось вычислить не для целой группы параллельно включенных линий, а только для одной из них сразу по выходе из реактора, то вместо удельной нагрузки всех реакторов $\frac{1}{R^*_{02}}$, через которые питается потребительская сеть, следовало бы взять величину $\frac{1}{R'_{02}}$ для одного реактора, т. е. отношение пропускной способности реактора r к его реактанцу x_r. Таким образом разрывная мощность масляников, стоящих на каждом фидере, отходящем от главной подстанции, будет

$$P_{магл} = \frac{100}{\frac{1}{S^*_0} + \frac{1}{R'_{01}}}, \qquad (35)$$

а на потребительской приемной подстанции

$$P_{мп} = \frac{100}{\frac{1}{S^*_0} + \frac{1}{R^*_{01}} + \frac{1}{L^*_{02}} + \frac{1}{R'_{02}}}, \qquad (36)$$

где R'_{01} и R'_{02} относятся к одному реактору.

При пользовании кривыми рис. 5 полезно заметить себе следующее. Так как левые ветви кривых падают очень круто, то следует избегать установки реакторов с теми удельными нагрузками R_0, которые соответствуют малым удельным нагрузкам системы S^*_0. Пределом этой последней можно считать 2% от разрывной мощности масляников, чему соответствует R_0, также равное 2%. Во всех случаях, когда S^*_0 получается меньше вышеуказанной величины следует все же R_0 выбирать равным 2%, так как иначе всякое, даже незначительное изменение удельной нагрузки S^*_0, получившееся, например, в силу расширения подстанции или прокладки новой питательной линии на стороне высокого напряжения, повлечет за собою настолько большое изменение характеристик реакторов, что может потребоваться их смена и установка новых. К этому следует прибавить, что при значительных с

удельных нагрузках R_0 реактанц реакторов получается об настолько малым, что они выходят нестандартными и не дываются в рамки заводских каталогов.

С другой стороны, так как кривые дают отсчет только с ностью до целых сотен, то полученные значения R_0 сле всегда округлять только в сторону уменьшения, как это сделано в примере 3.

Пользования кривыми рис. 5, а также вычислений по нениям (22) и (25) можно избежать, если запомнить интересное свойство этих кривых. Перепишем уравнение поставив в нем S^*_0 вместо T_{02}, в следующем виде:

$$R_0 = \frac{P}{100} + \frac{P}{100} + \frac{R_0}{S^*_0}.$$

Допустим теперь, что расчетом определено некоторое чение величины S^*_0 для данной точки и пусть это значе составляет k% от разрывной мощности масляников, пом щих установке в этой точке.

Таким образом

$$S^*_0 = k\frac{P}{100}.$$

Подставим это значение в уравнение (37). Имеем:

$$R = \frac{P}{100} + \frac{P}{100}\frac{R_0}{k\frac{P}{100}}$$

откуда

$$R_0 = \frac{k\frac{P}{100}}{k-1}$$

или, в связи с (38),

$$R_0 = \frac{S^*_0}{k-1}.$$

Полученный результат представляет большую практичес ценность. Словами его можно выразить так:

Если в данной точке приведенная уде ная нагрузка системы составляет k процен от разрывной мощности подлежащих ус новке масляников, то соответствующая это наибольшая допускаемая удельная нагру реакторов будет в $(k-1)$ раз меньше.

Так, в примере 3 для S^*_{08} была найдена величина S^*_{08} = 2743 kVA/1% или 2,743% от разрывной мощности по щих установке масляников ($P = 100$ MVA). Следовател удельная нагрузка реакторов будет в (2,743 — 1) раз мень т. е.

$$R_0 = \frac{2743}{2{,}743 - 1} = 1584 \text{ kVA/1\%},$$

в то время как по кривой, которая дает более грубый зультат, было найдено R_0 в пределах от 1 500 до 1 600 kVA

В заключение следует заметить, что если желательно брать масляные выключатели с некоторым запасом разры мощности, то это легко сделать, если предельную мощ короткого замыкания P, о которой говорится в прави назначить с той степенью понижения по отношению к рывной мощности масляников, которая требуется обстоя ствами.

Таким образом, желая, чтобы предельная мощность ко кого в данной точке не превышала m процентов от раз ной мощности масляников P, следует при пользовании вилом 3 производить процентные вычисления не для ности P, а для новой сниженной разрывной мощ P', которая должна быть равна mP. Этого же резул можно достигнуть, если построить новые кривые для кажд типа масляника вместо кривых рис. 5, вычислив их для личных значений P', соответственно желаемой степени за Задачу можно упростить, если, пользуясь кривыми ри построить новые, откладывая R_0 в функции P для задан сечений S^*_0. Эти кривые изображены на рис. 6. Как л видеть, они дают графическое изображение уравнения или (41).

При пользовании этими кривыми для определения уд ных нагрузок R_0, соответствующих отсутствующим в граф значениям S^*_0, можно не прибегать к интерполирова В таких случаях лучше брать R_0 по той кривой, кото отвечает ближайшему высшему значению S^*_0, так как, по пая таким образом, мы получаем преуменьшенные значе R_0, что идет в запас прочности.

Кривые рис. 5 и 6 дают ответ также и на задачу, обрат предыдущей. Пользуясь ими, можно узнать, в какую то энергетической системы можно поставить данный реак с данным масляником. Для этого необходимо по известным

Брянская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

и P найти S^*_0. Так например, если требуется узнать, в какую точку энергетической системы может быть поставлена комбинация из реактора, имеющего удельную нагрузку $R_0 =$ =2 MVA/1%, и масляника с предельной разрывной мощностью $P = 150$ MVA, то по кривым рис. 6 находим, что это можно сделать только для тех точек системы, которые имеют приведенную удельную нагрузку S^*_0 не больше 6 MVA/1% и следовательно, мощность короткого не свыше 100^*_0, т. е. 600 MVA. Аналитически связь между S^*_0, P и R_0 для данного случая может быть найдена совершенно тем же путем, как и выше, и выражается она следующим уравнением

$$S^*_0 = \frac{k\frac{P}{100}}{k-1} \qquad (42)$$

или

$$S^*_0 = \frac{R_0}{k-1}. \qquad (43)$$

Очевидно, что кривые рис. 6 будут действительны и для этого случая, если только откладывать по оси ординат S^*_0 (вместо R_0), а цифры, стоящие около каждой кривой, относить к R_0 (вместо S^*_0). Уравнение (43) словами выражается следующим образом:

Данный масляный выключатель и данный реактор, имеющие удельную нагрузку, равную k процентов от разрывной мощности этого масляника, могут быть установлены совместно только в тех точках энергетической системы, приведенная удельная нагрузка которых не превышает уменьшенной в $k-1$ раз удельной нагрузки реактора.

Пользуясь кривыми рис. 5 и 6, а также уравнениями (41) и (43) с их словесными выражениями в виде правил 3 и 4, можно легко разобраться во всех вопросах практики, связанных с выбором масляных выключателей и реакторов.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СЪЕЗДЫ И КОНФЕРЕНЦИИ

Конференция по эксплоатации электроснабжающих систем

Во второй половине октября с. г. в Ленинграде состоится организуемая Всесоюзным энергетическим комитетом Всесоюзная конференция по эксплоатации электростанций и сетей. Основной задачей конференции явится рассмотрение вопросов эксплоатации тепловых и гидравлических станций, подстанций и сетей. На конференции будет обращено особое внимание на все вопросы, связанные с техникой и экономикой сложных комбинатов разнородных станций, об'единяемых общей сетью.

Конференция должна выявить существующие достижения и недостатки в работе электроснабжающих систем по эксплоатации, рационализации, организации и планирования, разработать мероприятия по устранению этих недостатков и наметить пути развития в указанной области на второе пятилетие.

Работу конференции намечается провести по семи основным отделам.

Программа работ отдела хозяйства тепловых станций охватит по котельному хозяйству станций вопросы топливного и водяного хозяйства, контроля теплового хозяйства, учета, лабораторий и измерительных приборов и планирования производства, а также хозрасчета, и по электромашинному хозяйству станций—вопросы эксплоатации турбин, вспомогательного оборудования, генераторов, распределительного устройства, собственных нужд станций, масляного хозяйства, ремонта, организации и планирования производства и хозрасчета.

Отдел теплофикации заключает разработку специальных вопросов, не включенных в первый отдел, а также вопросы эксплоатации теплосетей.

В программу отдела сетевого хозяйства включены вопросы эксплоатации воздушных и кабельных линий, подстанций, трансформаторного и масляного хозяйств, ремонта, организации, планирования и хозрасчета.

Вопросы диспетчерской, релейной и связистской службы, ее организации, планирования и хозрасчета войдут в работу отдела хозяйства электроснабжающих систем.

Программа отдела надежности электроснабжения и качества продукции предусматривает вопросы регулирования напряжения и частоты в системе, аварий, графика нагрузки и его планового регулирования, а также компенсации реактивной мощности в системе.

Кроме указанных пяти отделов будут работать отдел хозяйства гидростанций и отдел кадров. Организацию отделов конференции приняли на себя сектор Электрификации Госплана СССР, Эксплоатационное управление Главэнерго, МОГЭС и Электроток.

В работу конференции вовлекаются районы, имеющие опыт эксплоатации больших электроснабжающих систем, как-то: Донбасс, Урал и Закавказье, а также научно-исследовательские институты, работающие по вопросам электроснабжения, в частности Энергетический институт Академии наук, Теплотехнический институт ВЭИ, Ленинградский электрофизический институт, Институт энергетики и электрификации и лаборатории ВТУЗ'ов.

При конференции предполагается организовать выставку для освещения вопросов эксплоатации электростанций и сетей и в особенности наших достижений как в этой области, так и по всему фронту энергохозяйства в целом.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ЗА РАЦИОНАЛИЗАЦИЮ В ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВЕ

Статические конденсаторы и проблема коэфициента мощности

А. Я. Слоним и В. Л. Ин
Киевток

Настоящая работа посвящена ряду конкретных вопросов применения статических конденсаторов

Статические конденсаторы, несомненно, найдут себе в ближайшем будущем самое широкое применение. Между тем, до настоящего времени в нашей и иностранной технической литературе отсутствуют какие бы то ни было ясные и теоретически обоснованные указания по целому ряду вопросов применения статических конденсаторов, как компенсаторов индуктивного тока.

К числу вопросов, имеющих наибольшее практическое значение и, вместе с тем, представляющих значительный теоретический интерес, относятся, прежде всего, по нашему мнению следующие:

1) определение экономического коэфициента мощности потребителя или группы потребителей, на основе которого решается вопрос о рациональном пределе компенсации cos φ;

2) рациональное размещение статических конденсаторов в электрической сети и зависимость его от характеристик конденсаторов;

3) определение очередности и пределов компенсации отдельных приемников, иначе говоря, вопрос выбора об'ектов компенсации;

4) регулирование и выбор мощности статических конденсаторов для компенсации cos φ отдельных приемников тока (двигателей).

Рассмотрению этих вопросов и формулировке ответов на них и посвящена настоящая статья.

I. Определение экономического коэфициента мощности

В зависимости от конечного назначения проектируемой установки компенсаторов, иначе говоря, в зависимости от условий работы рассматриваемой электрической сети, возможны три различных подхода к вопросу определения экономического предела повышения cos φ.

Первая точка зрения уместна тогда, когда сеть работает при неизменной активной передаваемой мощности, не зависящей от степени компенсации. Тогда, конечно, отпадает вопрос об одной из выгод компенсации, именно, об увеличении пропускной способности сети в связи с установкой в конце ее статических конденсаторов, освобождающих сеть от нагрузки индуктивными токами, и вся экономия, определяющая собой рациональную степень компенсации, будет связана лишь с уменьшением величины потерь в сети.

Вторая точка зрения применима, если сеть неизменно загружается, независимо от компенсации, максимально возможным током. В этом случае потери в ней будут неизменны, и экономия сети может сказаться только на увеличении пропускной способности сети (по ваттной мощности), т. е. на уменьшении капитальных затрат на переданный киловатт.

В этом случае с компенсацией связаны лишь выгоды повышения пропускной способности сети (по активной мощности) или уменьшения мощности генераторов, трансформаторов, сети и т. д., которые и будут определять собой величину cos $\varphi_э$.

Наконец третья точка зрения—наиболее общая, об'единяющая обе предыдущие,—предполагает, что проектируемая или рассматриваемая существующая сеть должна работать при экономической плотности тока.

В этом случае от степени компенсации будут зависеть как потери, так и первоначальные затраты на станцию и сеть, и следовательно, экономический коэфициент мощности cos $\varphi_э$ будет определяться размером обеих выгод.

Хотя третья точка зрения трактует вопрос в наиболее общем виде и практически наиболее применима, мы ниже рассмотрим вопрос со всех трех точек зрения с тем, чтобы по возможности шире обобщить результат.

Произведем расчет значения экономической cos $\varphi_э$, имея в виду групповую компенсацию. Под термином „групповая компенсация" будем подразумевать компенсацию безваттных токов одним компенсатором для группы потребителей, питаемых отдельным фидером.

А. Передаваемая (потребляемая абонентами) активная мощность не зависит от cos φ

Предположим, что в сети осуществлена полная компенсация (до cos φ = 1) и что, следовательно, потери в сети обусловлены только активным током. Эксплоатационные расходы возрастут на величину косвенных расходов на статические конденсаторы. Посмотрим, как будут изменяться годовые эксплоатационные расходы, если мы постепенно будем снимать с сети конденсаторы.

Введем следующие обозначения:

P_1—передаваемая (потребляемая) активная мощность в киловаттах,

P_2—мощность из'ятых конденсаторов в киловольтамперах,

q—стоимость 1 kWh в рублях,

d—число часов использования максимума активной мощности в год,

p—отношение потерянной энергии в сети к потребленной,

R—сопротивление цепи, включая сеть, обмотки генераторов, трансформаторов и т. д., до места установки конденсаторов,

$T = 8760$ час.,

m—коэфициент потерь, определяемый, как известно, по формуле:

$$m = \frac{m'}{E_{\varphi}^2} = \frac{R\int_0^T i^2\,dt}{RT\,P_1^2{}_{max}},$$

k—отношение годовых эксплоатационных расходов по конденсаторам к их первоначальной стоимости,

c—стоимость 1 kVA конденсаторов.

Так как технические конденсаторы собираются из элементов малой емкости, то можно считать их стоимость пропорциональной их емкости. При полной компенсации стоимость потерянной энергии в цепи можно выразить так:

$$pP_1\,dq = Rm\;TP_1^2q.$$

Эксплоатационные расходы за год, зависящие от cos φ, будут: стоимость потерь и расходы по конденсаторам. Стоимостью потерь в конденсаторах пренебрегаем [1]).

После снятия конденсаторов мощностью P_2 стоимость потерь будет:

$$pP_1\,dq\,\frac{\left(\sqrt{P_1^2+P_2^2}\right)^2}{P_1^2}$$

или

$$Rm\;TP_1^2q\,\frac{\left(\sqrt{P_1^2+P_2^2}\right)^2}{P_1^2},$$

а полные расходы S составят:

$$S = pP_1\,dq\,\frac{P_1^2+P_2^2}{P_1^2} - kc\;P_2,$$

или

$$S = Rm\;TP_1^2q\,\frac{P_1^2+P_2^2}{P_1^2} - kc\;P_2.$$

Имея в виду, что

$$\frac{P_1}{\sqrt{P_1^2+P_2^2}} = \cos\varphi \quad \text{и} \quad \frac{P_2}{P_1} = \operatorname{tg}\varphi,$$

получим:

$$S = \left(pdq\,\frac{1}{\cos^2\varphi} = kc\operatorname{tg}\varphi\right)P_1,$$

или

$$S = \left(Rm\;Tq\,\frac{P_1}{\cos^2\varphi} - kc\operatorname{tg}\varphi\right)P_1.$$

[1]) Слоним, К вопросу компенсации cos φ в городских се „Электрические станции", 1932.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Минимум этих расходов найдем, приравняв первую производную по φ нулю:

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{2\,pqd\sin\varphi}{\cos^3\varphi} - \frac{kc}{\cos^2\varphi} = 0,$$

или

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{2\,Rm\;Tq\;P_1\sin\varphi}{\cos^3\varphi} - \frac{kc}{\cos^2\varphi} = 0.$$

Сокращая на $\cos^2\varphi$, так как $\cos\varphi \neq 0$, ибо $\varphi \neq \frac{\pi}{2}$, получим

$$2\,pdq\;\operatorname{tg}\varphi = kc,$$

откуда

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{kc}{2\,pdq},$$

или

$$2\,Rm\;TP_1 q\;\operatorname{tg}\varphi = kc,$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{kc}{2\,Rmq\;TP_1}.$$

И окончательно:

$$\cos\varphi_э = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{kc}{2\,pqd}\right)^2}} \qquad (1)$$

или

$$\cos\varphi_э = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{kc}{2\,Rmq\,TP_1}\right)^2}}. \qquad (1)$$

Исследуя полученные формулы, видим, что $\cos\varphi$ зависит от нагрузки, при которой сеть работает, от стоимости энергии, коэфициента использования или потерь, стоимости конденсаторов, процентных отчислений и сопротивления сети от станции до потребителей.

Чем больше k и c, тем меньше $\cos\varphi$.

Чем больше p, d, q или R, m, P_1, тем больше $\cos\varphi$.

Пример. Пусть $c = 200$ руб/kVA, $k = 10\% = 0{,}1$, $p = 0{,}1$, $q = 0{,}1$ руб/kWh, $d = 5\,000$ час. Тогда

$$\cos\varphi_э = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{0{,}1\cdot 200}{2\cdot 5\,000\cdot 0{,}1\cdot 0{,}1}\right)^2}} \approx 0{,}98.$$

Б. Сеть работает с постоянными потерями

Повторим наши рассуждения, изложенные выше. Будем снимать конденсаторы с сети, скомпенсированной до $\cos\varphi = 1$, и будем следить за изменением эксплоатационных расходов, зависящих от $\cos\varphi$. Если установка (станция и сеть) должна работать с постоянными потерями, то очевидно, что при снятии конденсаторов мощностью P_2 необходимая мощность генераторов и трансформаторов увеличится в

$$\frac{\sqrt{P_1^2+P_2^2}}{P_1}, \text{ т. е. в } \frac{1}{\cos\varphi} \text{ раз.}$$

Если принять, что стоимость генераторов и трансформаторов в зависимости от мощности изменяется по закону Видмара, то при $\cos\varphi = 1$ и стоимости машин r руб/kVA и мощности их P_1 kVA, общая стоимость их составит rP_1 руб.; после же снятия конденсаторов необходимая мощность машин будет

$$P_1\,\frac{1}{\cos\varphi},$$

а стоимость их

$$rP_1\cos^{-\frac{4}{3}}\varphi.$$

Косвенные расходы по эксплоатации, зависящие от $\cos\varphi$, будут, с одной стороны, увеличены до значения $k_1 r_1 P_1 \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi$, а с другой—уменьшены на величину $k_2 c P_1 \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi$, где k_1—отношение процентных отчислений по генераторам и трансформаторам к их стоимости, k_2—то же по конденсаторам (остальные обозначения см. выше).

Кроме того, в зависимости от $\cos\varphi$ будет изменяться и стоимость сети. При условии постоянства потерь в нашем случае сечения меди увеличатся в $\frac{1}{\cos^2\varphi}$ раз. Если косвенные расходы по стоимости сети, зависящей от сечения, прежде были $k_3 r_c P_1$, где k_3—коэфициент отчислений, а r_c—стоимость сети в рублях за 1 kVA, то теперь они составят:

$$k_3 r_c P_1 \frac{1}{\cos^2\varphi}$$

Общие эксплоатационные расходы в год, зависящие от $\cos\varphi$, составят:

$$S = k_1 r P_1 \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi + k_3 r_c P_1 \cos^{-2}\varphi - k_2 c P_2,$$

$$S = P_1\left(k_1 r \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi + k_3 r_c \cos^{-2}\varphi - k_2 c \operatorname{tg}\varphi\right).$$

Найдем условие минимума этих расходов:

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{4}{3}k_1 r \cos^{-\frac{7}{3}}\varphi\sin\varphi + 2\,k_3 r_c\cos^{-3}\varphi\sin\varphi - k_2 c\cos^{-2}\varphi = 0.$$

Так как $\cos\varphi \neq 0$, то, сокращая на $\cos^{-3}\varphi$, получим;

$$\frac{4}{3}k_1 r\cos^{-\frac{2}{3}}\varphi\sin\varphi + 2\,k_3 r_c\sin\varphi - k_2 c\cos\varphi = 0,$$

откуда

$$\sin\varphi = \frac{k_2 c\cos\varphi}{\frac{4}{3}k_1 r\cos^{\frac{3}{2}}\varphi + 2\,k_3 r_c},$$

или, если $k_1 = k_2 = k_3$,

$$\sin\varphi = \frac{\cos\varphi}{\frac{4}{3}\frac{r}{c}\cos^{\frac{2}{3}}\varphi + 2\frac{r_c}{c}},$$

а также

$$\operatorname{ctg}\varphi = \frac{4}{3}\frac{k_1}{k_2}\frac{r}{c}\cos^{\frac{2}{3}}\varphi + 2\frac{k_3}{k_2}\frac{r_c}{c},$$

или

$$\operatorname{ctg}\varphi = \frac{4}{3}\frac{r}{c}\cos^{\frac{2}{3}}\varphi + 2\frac{r_c}{c},$$

$$\cos^{\frac{2}{3}}\varphi_э = \frac{3}{4}\frac{k_3}{k_1}\frac{c}{r}\operatorname{ctg}\varphi - \frac{3}{2}\frac{k_3}{k_1}\frac{r_c}{r},$$

или

$$\cos^{\frac{2}{3}}\varphi_э = \frac{3}{4}\frac{c}{r}\operatorname{ctg}\varphi_э - \frac{3}{2}\frac{r_c}{r}. \qquad (2)$$

Пример. Пусть $c = 33$ руб/kVA, $r = 15$ руб/kVA, $r_c = 40$ руб/kVA. Тогда

$$\cos^{\frac{2}{3}}\varphi_э = \frac{3}{4}\frac{33}{15}\operatorname{ctg}\varphi_э - \frac{3}{2}\frac{40}{15},$$

$$\cos^{\frac{2}{3}}\varphi_э = 1{,}65\operatorname{ctg}\varphi_э - 4;$$

решая уравнение, получим

$$\cos\varphi_э = 0{,}95.$$

Сравнивая результаты подсчетов предыдущего и настоящего примера, видно, что расчеты „по потерям" и „по освобожденной мощности" дают в достаточной мере близкие результаты.

Имея в виду, что $\cos\varphi$ весьма близок к единице, можно несколько упростить формулу (2), придав ей более наглядный вид (при $k_3 = k_2 = k_1$):

$$\frac{3}{4}\frac{c}{r}\operatorname{ctg}\varphi = \frac{3}{2}\frac{r_c}{r} + 1;$$

отсюда

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{3c}{6\,r_c + 4\,r}$$

и

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{3c}{6\,r_c+4\,r}\right)^2}} \qquad (2')$$

Из этой формулы ясно видно, что чем дороже конденсаторы и дешевле электрические машины и сеть до места установки конденсаторов, тем ниже „экономический" коэфициент мощности.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

В. Сеть работает при экономической плотности тока

Рассмотрим этот наиболее общий и вполне реальный случай, например, проектирования новой станции и сети.

Экономическая плотность тока, как известно, зависит при определенном графике нагрузки только от стоимости энергии и стоимости меди (не зависит от cos φ). Поэтому в этом случае сечения сети и потери в ней будут обратно пропорциональны cos φ. Потери же и стоимость генераторов и трансформаторов пропорциональны (см. выше) $\cos^{-\frac{4}{3}}\varphi$.

Ежегодные эксплоатационные расходы, зависящие от cos φ, тогда составят (обозначения см. выше);

$$S = k_1 r P_1 \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi + qpd P_1 \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi + k_3 r_c P_1 \cos^{-1}\varphi + q p_c d P_1 \cos^{-1}\varphi - k_2 c P_1 \operatorname{tg}\varphi,$$

$$S = P_1\left[\left(k_1 r \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi + qp_1 d \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi\right) + \left(k_3 r_c \cos^{-1}\varphi + q p_c d \cos^{-1}\varphi\right) - k_2 c \operatorname{tg}\varphi\right],$$

где первый и второй члены представляют собой косвенные расходы и стоимость потерь в генераторах и трансформаторах, третий и четвертый — то же по сети, а пятый — косвенные расходы по конденсаторам.

Введем следующие обозначения:

$k_1 r + q p_1 d = A$ — расходы по генераторам и трансформаторам,

$k_3 r_c + q p_c d = B$ — расходы по сети,

$k_2 c = C$;

тогда эксплоатационные расходы на 1 kW передаваемой мощности выразятся так:

$$\frac{S}{P_1} = A \cos^{-\frac{4}{3}}\varphi + B \cos^{-1}\varphi - C \operatorname{tg}\varphi.$$

Найдем условие минимума расходов:

$$\frac{dS}{d\varphi} = \frac{4}{3} A \cos^{-\frac{7}{3}}\varphi \sin\varphi + B \cos^{-2}\varphi \sin\varphi - C \cos^{-2}\varphi = 0;$$

$$\frac{4}{3} A \cos^{-\frac{1}{3}}\varphi \sin\varphi + B \sin\varphi = C;$$

$$\cos^{-\frac{1}{3}}\varphi = \frac{3}{4}\frac{C}{A}\frac{1}{\sin\varphi} - \frac{3}{4}\frac{B}{A};$$

откуда

$$\cos\varphi_э = \frac{1}{\left[\frac{3}{4}\left(\frac{C}{A\sin\varphi} - \frac{B}{A}\right)\right]^3}. \qquad (3)$$

Смысл формулы ясен.

Для характеристики реальной величины параметров A, B и C, приводим их значения в условиях Киевтока: A колеблется в пределах $30 \div 50$, B — в пределах $25 \div 100$, C (стоимость конденсаторов) на 1 kVA для имеющихся в настоящее время в нашем распоряжении конденсаторов составляет: для конденсаторов на низкое напряжение (завод „Красная заря") 100—120 руб., на высокое напряжение (лаборатория Киевского энергоинститута) $25 \div 30$ руб., $C = k_2 c$ можно считать равным 0,1 c.

Решение уравнения (3) может быть найдено путем подбора, что легко сделать, если представить его в форме

$$\frac{1}{\sqrt[3]{\cos\varphi}} = \frac{3}{4}\frac{C}{A}\frac{1}{\sin\varphi} - \frac{3}{4}\frac{B}{A} \qquad (4)$$

и воспользоваться приведенным графиком рис. 1 (кривая *I*):

$$\frac{1}{\sqrt[3]{\cos\varphi}} = f(\sin\varphi).$$

Задаваясь значением sin φ (обычно порядка $0{,}0 \div 0{,}5$), подсчитываем первую часть уравнения (4) и сверяем ее с значением $\frac{1}{\sqrt[3]{\cos\varphi}}$ по графику.

Когда sin $\varphi_э$ найден, определяем cos $\varphi_э$, для чего можно воспользоваться кривой *II*. Ордината кривой *II* дает значение cos φ для абсциссы, равной sin φ.

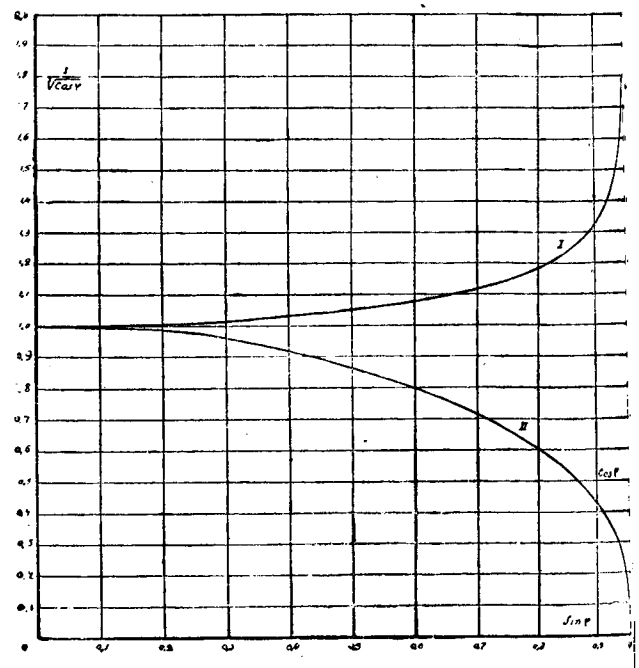


Рис. 1.

Необходимо отметить, что обычно слагающие $k_1 r$ и $k_3 r_c$ составляют около 10% от значений A и B, и поэтому за A и B в первом приближении могут быть приняты только стоимости потерь в синхронных машинах A и сети B.

Пример. Пусть $A = 30$, $B = 60$, $C = 20$;

$$\frac{1}{\sqrt[3]{\cos\varphi}} = \frac{3\cdot 20}{4\cdot 30}\frac{1}{\sin\varphi} - \frac{3\cdot 60}{4\cdot 30};$$

$$\frac{1}{\sqrt[3]{\cos\varphi}} = \frac{1}{2\sin\varphi} - \frac{3}{2}.$$

Задаемся значением $\sin\varphi = 0{,}2$, тогда правая часть последнего уравнения равна

$$\frac{10}{4} - \frac{6}{4} = 1.$$

По кривой $\frac{1}{\sqrt[3]{\cos\varphi}} = 1{,}01$.

Следовательно (по кривой *II* для $\sin\varphi = 0{,}2$),

$$\cos\varphi_э = 0{,}98.$$

На основании изложенного можно сделать ряд выводов, являющихся ответом на первый поставленный вопрос.

1. Применение статических конденсаторов, характеризующихся весьма малыми эксплоатационными расходами, связанными с установкой (ничтожными потерями, отсутствием расходов на обслуживающий персонал, ничтожным износом), даже при высокой их стоимости (в наших примерах мы принимали чрезмерно высокую их стоимость, не соответствующую даже современной кон'юнктуре) обусловливает возможность достижения весьма высокого экономического коэфициента мощности, практически близкого к единице.

2. В связи с этим применение статических конденсаторов для повышения cos φ, давая возможность осуществления максимальной экономики энергии и топлива, наилучшим образом отвечает интересам народного хозяйства в целом, с точки зрения которых, в сущности, важна не „рентабельность", не минимум эксплоатационных расходов, а минимум расходования энергии и топлива.

3. При определении экономического коэфициента мощности выбор той или иной из перечисленных и рассмотренных нами точек зрения в подходе к вопросу имеет принципиальное

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

значение. Однако результаты пользования тремя способами практически эквивалентны. Экономически выгодный $\cos\varphi_э$ весьма близок к 1.

4. Величина экономического коэфициента мощности $\cos\varphi_э$ в значительной мере зависит от характеристики об'ектов компенсации и размещения статических конденсаторов в сети; $\cos\varphi_э$ тем больше, чем равномернее график нагрузки компенсирующего абонента или группы абонентов, чем больше их коэфициент использования или коэфициент потерь питающей их сети, а также чем больше потери и стоимость сети до места установки конденсаторов, иначе говоря, чем „дальше" от станции установлены конденсаторы.

II. Рациональное размещение конденсаторов в сети

(выбор места их установки)

Так как вопрос выбора места установки компенсаторов является одним из важнейших и тесно связан с принципиальным вопросом выбора системы компенсации—индивидуальной или групповой, остановимся на нем подробнее.

Определим наивыгоднейшее место установки конденсаторов для двух простейших случаев рациональной сети: 1) равномерно загруженная по длине линия[1]) и 2) линия с равномерно возрастающей нагрузкой к концу ее. Выводы в дальнейшем обобщим.

Рассмотрим первый случай, для которого и определим место установки конденсатора, при условии минимума эксплоатационных расходов.

В этом случае реактивный ток вдоль линии распределяется по закону

$$i = I_0 (l - x,$$

где I_0 — плотность тока, т. е. нагрузка на единицу длины линии,

x — расстояние от генераторного конца.

Если ток статического конденсатора I_k, то потери в меди составят (рис. 2):

до конденсатора

$$I_0^2 \int_0^A R \left(l - x - \frac{I_k}{I_0}\right)^2 dx,$$

после конденсатора

$$I_0^2 \int_A^l R (l - x)^2 dx.$$

Общие потери в линии (потерями в конденсаторах попрежнему пренебрегаем) будут равны:

$$Q = \frac{1}{3} I_0^2 R \left[\left(l - \frac{I_k}{I_0}\right)^3 - \left(l - A - \frac{I_k}{I_0}\right)^3 + (l - A)^3\right].$$

Решим сначала задачу, пренебрегая расходами по эксплоатации конденсаторов и генераторов (принимая их стоимость равной нулю) и исходя из условия минимума потерь:

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial I_k} = 0;$$

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = 3\left(l - \frac{I_k}{I_0} - A\right)^2 - 3(l - A)^2 = 0;$$

$$A = l - \frac{1}{2}\frac{I_k}{I_0};$$

$$\frac{\partial Q}{\partial I_k} = 3\left(l - \frac{I_k}{I_0}\right)^2 - 3\left(l - \frac{I_k}{I_0} - A\right)^2 = 0;$$

$$A = 2l - 2\frac{I_k}{I_0}.$$

Отсюда нетрудно найти, что

$$A_э = \frac{2}{3} l, \qquad (4')$$

$$I_{k\,э} = \frac{2}{3} l I_0. \qquad (4'')$$

Если обозначить ток в начале линии через I, то тогда

$$I_0 = \frac{I}{l}$$

и место установки конденсатора выразится так:

$$A = l\left(1 - \frac{1}{2}\frac{I_k}{I}\right).$$

На рис. 2 показано распределение токов в линии при наивыгоднейшем расположении конденсаторов для этого случая.

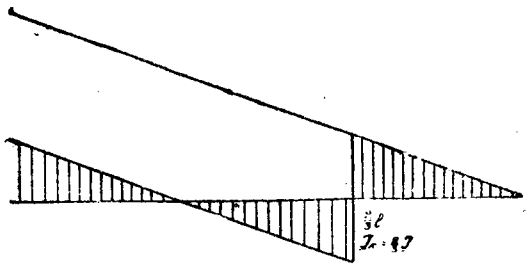


Рис. 2.

Рассмотрим теперь вопрос с учетом стоимости конденсаторов и генераторов. Если стоимость 1 А конденсатора c рублей, а генераторов r рублей[1]) (прочие обозначения см. выше), то сумма эксплоатационных расходов составит:

$$S = -qmTI_0^2 R \frac{1}{3}\left[\left(l - \frac{I_k}{I_0}\right)^3 - \left(l - A - \frac{I_k}{I_0}\right)^3 + (l - A)^3 + k_1 r (l - I_k) + k_2 c I_k.\right.$$

Условия минимума расходов:

$$\frac{\partial S}{\partial I_k} = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial I_k} = qmTI_0 R\left[\left(l - \frac{I_k}{I_0}\right)^2 - \left(l - \frac{I_k}{I_0} - A\right)^2\right] - k_1 r + k_2 c = 0;$$

$$qmTI_0 R\left[2l - 2\frac{I_k}{I_0} - A\right] A - k_1 r + k_2 c = 0.$$

Попрежнему $A = l - \frac{1}{2}\frac{I_k}{I_0}$. Полагая $qmTI_0 R = M$, получим:

$$M\left(l - 1{,}5\frac{I_k}{I_0}\right)\left(l - \frac{1}{2}\frac{I_k}{I_0}\right) - k_2 c + k_1 r = 0,$$

$$\frac{3}{4}\left(\frac{I_k}{I_0}\right)^2 - (1{,}5l + 0{,}5l)\frac{I_k}{I_0} + l^2 - \frac{k_2 c}{M} + \frac{k_1 r}{M} = 0,$$

$$\left(\frac{I_k}{I_0}\right)^2 - \frac{8}{3} l \frac{I_k}{I_0} + \frac{4}{3}\left(l^2 - \frac{k_2 c - k_1 r}{M}\right) = 0,$$

$$\frac{I_k}{I_0} = \frac{4}{3} l \mp \sqrt{\frac{16}{9} l^2 - \frac{4}{3} l^2 + \frac{4}{3}\frac{k_2 c - k_1 r}{M}}.$$

Имея $I_0 = \frac{I}{l}$, получим:

$$\frac{I_k}{I} = \frac{4}{3} \pm \sqrt{\frac{4}{3}\left(\frac{1}{3} + \frac{k_2 c - k_1 r}{Ml^2}\right)}. \qquad (4''')$$

Исходя из этого выражения, можно найти условие невыгодности применения конденсаторов.

В этом случае $I_k = 0$, $\frac{I_k}{I} = 0$;

$$\frac{16}{9} = \frac{4}{9} + \frac{4}{3}\frac{k_2 c_2 - k_1 r}{Ml^2}; \quad \frac{4}{3}\frac{k_2 c_2 - k_1 r}{Ml^2} = \frac{4}{3};$$

$$\frac{k_2 c_2 - k_1 r}{Ml^2} = 1; \quad c_\sim = \frac{Ml^2 + k_1 r}{k_2};$$

$$c_\sim = \frac{qmTI_0 R}{k_2} l^2 + \frac{k_1}{k_2} r.$$

Выражение (4''') можно переписать так:

$$\frac{I_k}{I} = \frac{4}{3} \mp \sqrt{\frac{4}{3}\left(\frac{1}{3} + \frac{k_2 c - k_1 r}{k_2 c_\sim - k_1 r}\right.}.$$

[1]) В дальнейшем мы рассматриваем лишь распределение реактивных токов. Активный ток на результат влиять не будет.

[1]) В действительности закон изменения стоимости генераторов будет $k_1 r (I - I_k)$, а $k_1 r \left(\sqrt{I_a^2 + (I - I_k)^2} - I_a\right)$, где I_a — активный ток генераторов. Однако при введении в наше уравнение правильного выражения стоимости генераторов анализ вопроса настолько усложнится, что мы считаем возможным сделать принятое допущение, имея в виду вывести лишь основные соотношения.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

По мере возрастания стоимости конденсаторов последние все более отдаляются от станции, а при $c > c_{\sim}$ конденсаторы „слетают" с линии.

Проанализируем формулу (4‴) (рис. 2).

1) При $k_2 c = k_1 r$

$$\frac{k_2 c - k_1 r}{Ml^2} \cdot \frac{4}{3} = 0,$$

откуда

$$\frac{I_k}{I} = \frac{2}{3} \quad \text{и} \quad A = \frac{2l}{3}.$$

т. е. при одинаковой величине расхода (стоимостей) конденсаторов и генераторов конденсаторы берут на себя $^2/_3$ всего реактивного тока и должны быть расположены на расстоянии $\frac{2}{3} l$ от станций.

2) При $k_2 c - k_1 r = -\frac{Ml^2}{4}$

$$\frac{I_k}{I} = 1$$

и

$$A = \frac{1}{2} l,$$

т. е. конденсаторы берут на себя весь реактивный ток и должны быть расположены по середине линии.

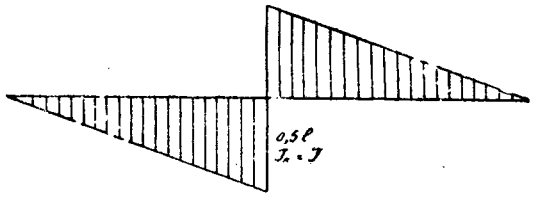


Рис. 3.

Рассмотрим теперь второй случай, более реальный, когда плотность нагрузки (индуктивным током) возрастает вдоль линии по закону прямой. Если, например, фидер питает сектор круга с равномерной плотностью нагрузки, тогда нагрузка на единицу длины фидера будет изменяться по закону $i = i_0 x$.

Тогда сила тока, протекающая в сечении a, будет:

$$I = \int_a^l i_c x \, dx = \left| \frac{ix^2}{2} \right|_a^l = \frac{i}{2}(l^2 - a^2).$$

Потери до конденсатора:

$$qmT \int_0^A \left(\frac{i_0 l}{2} - \frac{i_0 a}{2} - I_k \right)^2 R \, da =$$

$$= \left[\left(\frac{i_0}{2} l^2 - I_k \right)^2 A - \frac{i_0}{3} \left(\frac{i_0}{2} l^2 - I_k \right) A^3 + \frac{i_0^2}{20} A^5 \right] RqmT.$$

Потери после конденсатора:

$$qmT \int_A^l \left(\frac{i_0}{2} l^2 - \frac{i_0}{2} a^2 \right) R \, da =$$

$$= qmT \frac{i_0^2 R}{4} \left[l^5 - \frac{2}{3} l^5 - \frac{l^5}{5} - l^4 A + \frac{2}{3} l^2 A^3 - \frac{A^5}{5} \right].$$

Суммарные расходы по эксплоатации (при прежних допущениях) будут:

$$Q = \left[\left(\frac{i_0}{2} l^2 - I \right)^2 A - \frac{i_0}{3} \left(\frac{i_0}{2} l^2 - I_k \right) A^3 + \frac{i_0^2}{20} A^5 \right] RqmT +$$

$$+ qmT \frac{i_0^2 R}{4} \left[l^5 - \frac{2}{3} l^5 + \frac{1}{5} l^5 - l^4 A + \frac{2}{3} l^2 A^3 - \frac{A^5}{5} \right] +$$

$$+ k_2 c I_k + k_1 r (I - I_k).$$

Чтобы найти минимум расходов в зависимости от места установки конденсаторов, диференцируем полученное уравнение по A:

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = \left(\frac{i_0}{2} l^2 - I_k \right)^2 RqmT - i_0 RqmT \left(\frac{i_0}{2} l^2 - I_k \right) A^2 +$$

$$+ \frac{i_0}{4} qmTRA^4 - \frac{i_0^2}{4} RqmTl^4 + \frac{i_0^2}{4} RqmTl^2 A^2 - \frac{i_0}{4} qmTRA^4;$$

$$qmT (i_0 RI_k A^2 - i_0 l^2 I_k R + I_k^2 R) = 0; \quad A^2 = l^2 - \frac{I_k}{i_0};$$

$$A = \sqrt{l^2 - \frac{I_k}{i_0}}.$$

Имея в виду, что полный ток $I = \frac{i_0 l^2}{2}$ или $i_0 = \frac{2I}{l^2}$, получим

$$A = l \sqrt{1 - \frac{I_k}{2I}}. \qquad (5)$$

Диференцируя общие расходы по току I_k конденсатора, имеем:

$$\frac{\partial Q}{\partial I_k} = \left[-2 \left(\frac{i_0}{2} l^2 - I_k \right) A + \frac{i_0}{3} A^3 \right] RqmT + k_2 c - k_1 r = 0$$

Ввиду трудности решения настоящего уравнения третьей степени в общем виде, рассмотрим частный случай, когда $k_2 c = k_1 r$. Тогда

$$A = \sqrt{3} \, l \sqrt{1 - \frac{I_k}{I}}. \qquad (5')$$

Решая совместно уравнения (5′) и (5″), получим экономическую мощность и место установки конденсаторов:

$$I_k = 0,8I$$

и

$$A = \sqrt{0,5} \, l = 0,775l. \qquad (6)$$

Из сравнения полученных результатов с данными анализа первого случая равномерной загрузки линии [формула (4‴)] видно, что в настоящем случае место установки конденсаторов отдалилось от станции. Вообще, чем слабее падает сила тока вдоль линии, тем дальше следует ставить конденсаторы (рис. 4).

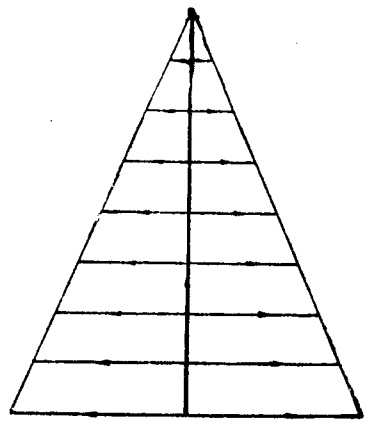


Рис. 4.

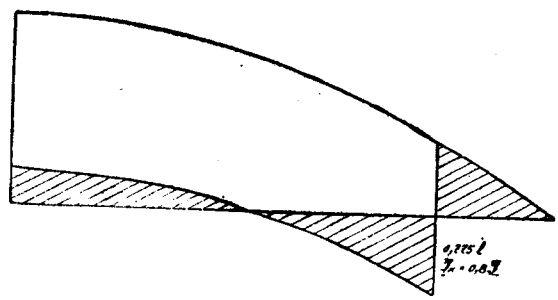


Рис. 4а.

В том случае, когда сила тока в линии неизменна вдоль линии, т. е. нагрузка сосредоточена в конце ее, конденсатор должен быть установлен в конце линии.

Изложенное в настоящем разделе дает возможность сделать следующие выводы.

1. Экономическая мощность конденсаторов, а также место их установки зависят от экономических характеристик конденсаторов, генераторов, размера потерь и характера распределения нагрузки в сети

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

2. Чем больше эксплоатационные расходы по конденсаторам, тем дальше подвигаются они от станции и наоборот.

3. Чем слабее падает ток вдоль линии, тем дальше отодвигаются конденсаторы от станции. При расположении нагрузки в конце линии конденсаторы должны быть установлены также в конце ее.

4. Необходимо отметить, что последний „частный случай" (нагрузка в конце линии) является в сущности наиболее реальным и „общим" случаем, ибо в действительных сетях нагрузка всегда расположена на концах сети. Так, если мы на основе изложенного определим наивыгоднейшее место установки конденсаторов в сети такой конфигурации, как показано на рис. 5, то при рассмотрении фидера AB наивыгоднейшим местом установки конденсаторов окажется точка B (и это будет правильным решением при наличии лишь одного или одной группы конденсаторов).

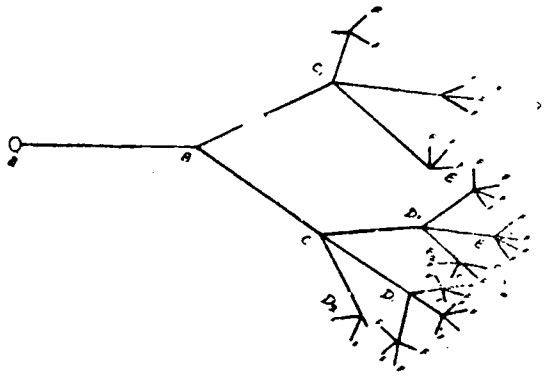


Рис. 5.

При рассмотрении ветвей BC конденсаторы сдвинутся с точек D, D_1, D_2 и т. д., вплоть до концов сети F, где присоединена нагрузка.

Таким образом мы логически (рассуждения правильны, ибо для конденсаторов стоимость 1 kVA не зависит от мощности или числа их) приходим к выводу о правильности и необходимости индивидуальной компенсации.

III. Определение очередности и пределов индивидуальной компенсации

Придя к выводу о целесообразности индивидуальной компенсации, рассмотрим весьма важный практически в условиях недостатка компенсационных устройств вопрос о необходимой очередности и экономических пределах компенсации $\cos\varphi$ отдельных потребителей или двигателей.

Экономический $\cos\varphi$ в условиях групповой компенсации определяется согласно формулам раздела I настоящей работы.

При индивидуальной компенсации величина экономического $\cos\varphi$ и очередность компенсации будут зависеть, при прочих равных условиях, от полноты графика работы двигателей (его коэфициента использования в часах) и от его удаленности от станции.

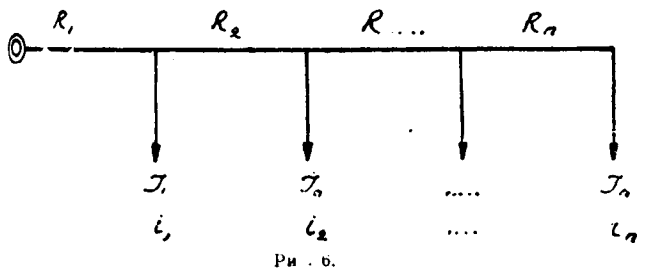


Рис. 6.

Очевидно, что в первую очередь должны быть компенсированы двигатели с наибольшим числом часов использования и наиболее удаленные от станции. Необходимо, однако, решить задачу об экономическом $\cos\varphi$ для отдельных двигателей.

Прежде чем сформулировать общий ответ на этот вопрос, определим (при прежних допущениях) $\cos\varphi$ двигателей, присоединенных к одному фидеру, имеющих одинаковый коэфициент использования, но размещенных на разных расстояниях.

Потери в сети пропорциональны $I_2 = I^2_{ватт} + I_{б.\ ватт}$. Так как при любом $\cos\varphi$ потери от активных токов неизменны, то в нашем расчете мы можем считаться только с индуктивными нагрузками.

Введем обозначения:

I_n — индуктивные токи потребителей,

$n_1 = n_2 = n_3 = \ldots = n_n = n$ — коэфициенты использования потребителей,

R_n — сопротивление фидера на участке соответствующего потребителя,

q — стоимость 1 kWh энергии,

T — число часов в году,

c — процентные отчисления на стоимость конденсаторов на 1 A емкостного тока в год,

i_m — сила тока компенсатора у потребителя m в амперах.

Кроме того, обозначим через A_m индуктивный ток, текущий в участке фидера до m-го потребителя и обусловленный нагрузкой, т. е.

$$A_m = \sum_{k=m}^{k=n} I_k.$$

Соответственно емкостный ток, обусловленный компенсаторами и текущий в участке до m-го потребителя, обозначим через a_m. Именно

$$a_m = \sum_{k=m}^{k=n} i_k.$$

Введя такие обозначения, легко видеть, что мощность всех компенсаторов, установленных в сети, будет

$$a_1 = \sum_{k=1}^{k=n} i_k.$$

Напишем выражение для эксплоатационных расходов по обслуживанию фидера.

Стоимость потери в сети равна

$$qn \sum_{m=1}^{m=k} R_m (A_m - a_m)^2.$$

Процентные отчисления на компенсаторы ca_1.

Полные расходы по эксплоатации в год:

$$\sum_{m=1}^{m=k} R_m (A_m - a_m)^2 + ca_1.$$

Найдем минимум этих расходов.

Из последнего выражения видно, что Q есть функция $a_1, a_2, a_3, \ldots, a_n$.

Беря производную от потерь по этим аргументам и приравнивая ее нулю, получим следующие уравнения:

$$-2qnR_1 (A_1 - a_1) + c = 0,$$

$$-2qnR_m (A_m - a_m) = 0;$$

откуда

$$a_1 = A_1 - \frac{c}{2qnR_1} \qquad (6')$$

и

$$a_m = A_m. \qquad (6'')$$

Найденное решение минимума не имеет и может быть сразу использовано без предварительного анализа. Именно, если $c = 0$, то $a_1 = A_1$ и $a_m = A_m$, т. е. при цене компенсаторов 0 в каждом участке фидера $\cos\varphi$ должен быть равен единице для получения минимума расходов.

Если же $c \neq 0$, то $a_1 < A_1$; уравнение (6″) требует неизменно равенства $a_m = A_m$. Может случиться, что с ростом c величина a_1, уменьшаясь, станет меньше a_2. Так как $a_1 - a_m = i_1$, то при $a_1 < a_2$ мы получим отрицательные значения для i_1, т. е. компенсатор на первом потребителе должен будет потреблять индуктивный, а не емкостный ток.

Этот результат, однако, не отвечает правильному решению задачи. Он является следствием принятого нами закона стоимости конденсаторов $c = \alpha P_a$, который, в силу непрерывности, дает отрицательные значения стоимостей при индуктивном токе [1])

Таких конденсаторов с отрицательной ценой не существует, и следовательно, наше исследование при повышении значе-

[1]) Как видно, задача решена нами в дискретной форме с последующим (см. дальше) переходом к непрерывному распределению токов. Это и об'ясняется указанными свойствами принятой зависимости.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ния c должно быть прекращено тогда, когда $a_1 = a_2$. Но в этом случае $i_1 = 0$.

Значение стоимости эксплоатации конденсаторов, при котором на первом потребителе конденсаторы будут неэкономичны, будет

$$A_2 = A_1 - \frac{c}{2\,qn\,R_1},$$
$$A_2 = A_1 = -I_1,$$
$$c_1 = 2\,qn\,R_1\,I_1. \qquad (6''')$$

Пусть теперь стоимость конденсаторов превышает значение c_1. Тогда, имея в виду, что у первого потребителя конденсаторов не будет, уравнение расходов напишется так:

$$qn \sum_{m=2}^{m=k} R_m\,(A_m - a_m)^2 + ca_2 + qn\,R_1\,(A_1 - a_2)^2.$$

Снова найдем минимум потерь от a_2 и a_m.

$$-2\,qn\,R_2\,(A_2 - a_2) - 2\,qn\,R_1\,(A_1 - a_2) + c = 0$$

и

$$-2\,qn\,R_m\,(A_m - a_m) = 0.$$

Решая, имеем:

$$R_2\,A_2 - R_2\,a_2 + R_1\,A_1 - R_2\,a_2 = \frac{c}{2\,qn};$$
$$a_2 = \frac{R_2\,A_2 + R_1\,A_1}{R_1 + R_2} - \frac{c}{2\,qn\,(R_1 + R_2)}.$$

Рассуждая, как и прежде, найдем, что с возрастанием цены i_2 становится равным нулю, и так как $a_3 = a_2 + i_2$, то

$$a_2 = a_3 = A_3.$$

Следовательно, цена c_2, при которой на втором потребителе конденсаторов ставить нельзя, будет:

$$A_3\,(R_1 + R_2) = R_2\,A_2 + R_1\,A_1 - \frac{c_2}{2\,qn},$$
$$(A_3 - A_1)\,R_1 + (A_3 - A_2)\,R_2 = \frac{|c_2|}{2\,qn},$$

откуда

$$c_2 - 2\,qn\,[R_1\,(I_1 + I_2) + R_2\,I_2]. \qquad (6'''')$$

Обобщая, получим предельную цену для k-го потребителя:

$$c_k = 2\,qn\left[R_1 \sum_{1}^{k} I + R_2 \sum_{2}^{k} I + \ldots + R_{k-2} \sum_{k-1}^{k} I + R_k\,I_k\right]. \qquad (6)$$

Прежде чем сформулировать выводы, рассмотрим, как меняется картина наивыгоднейшего распределения компенсаторов при повышении цены.

Пусть цена компенсаторов будет сперва нуль. Тогда все компенсаторы должны быть равны по мощности нагрузкам потребителей, так как равенство $A_m = a_m$ может быть только при условии $I_m = i_m$. При повышении цены начинает сперва уменьшаться степень компенсации первого потребителя, тогда как остальные все еще компенсируются полностью. При цене $c = c_1$ первый потребитель лишится компенсации, у остальных же $\cos\varphi = 1$.

При дальнейшем повышении цены начинает уменьшаться мощность второго компенсатора, остальные же потребители сохраняют $\cos\varphi = 1$.

Далее картина протекает, как показано на рис. 7. Каждый раз у всех потребителей, кроме ближайшего к станции, $\cos\varphi = 1$, а у ближайшего к станции определяется стоимостью конденсаторов, которая также определяет и номер этого „ближайшего" потребителя.

Переходя от дискретного распределения к непрерывному, мы получим полное заполнение компенсаторами конца линии, с компенсацией до $\cos\varphi = 1$ и с крутым обрывом на определенном расстоянии от станции, означающем дальнейшее отсутствие компенсаторов при приближении к станции.

Заметим, что выражение, стоящее в квадратных скобках уравнения (6'''), есть не что иное, как падение напряжения [1]) от станции до потребителя k.

Перепишем теперь уравнение (6) так:

$$c_k = 2\,qnl_k.$$

[1]) Индуктивная составляющая его.

Из данного уравнения можно определить длину l, на которой обрывается кривая компенсаторов. Именно должно быть

$$\frac{c}{2\,qn} = l_1.$$

Только что мы рассмотрели размещение компенсаторов при индивидуальной компенсации для потребителей, имеющих одинаковые числа часов использования, но находящиеся на

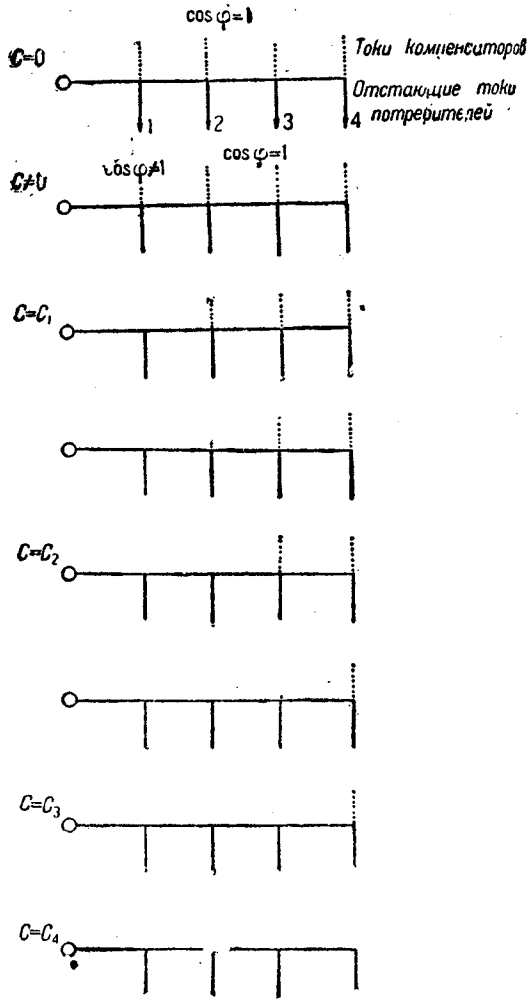


Рис. 7.

ных расстояниях от станции. Оказывается, что их $\cos\varphi$ необходимо доводить до $\cos\varphi = 1$, если компенсация вообще целесообразна.

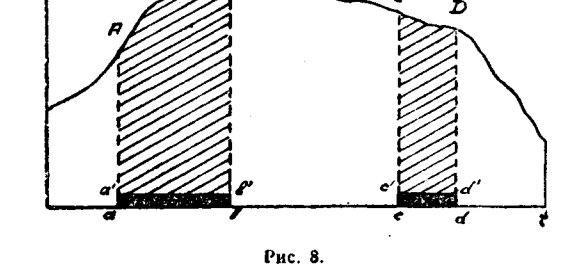


Рис. 8.

Теперь рассмотрим второй случай, а именно, распределение конденсаторов между потребителями, находящимися на одном расстоянии, питающимися от одного фидера, но имеющими разный коэфициент использования.

Пусть указанная группа потребителей дает среднегодовой суммарный суточный график безваттного тока, показанный на рис. 8, и пусть он может быть выражен уравнением

$$I = f(t).$$

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Рассмотрим далее компенсатор на силу тока I_k А, приключенный к потребителю n, работающему в часы, указанные жирной линией (здесь мы предположим, что компенсатор включен параллельно с потребителем).

Потери за день без компенсации выразятся:

$$Q_1 = R\int_a^b [f(t)]^2\,dt + R\int_c^d [f(t)]^2\,dt + \int_o^a R[f(t)]^2\,dt + $$
$$+ R\int_b^c [f(t)]^2\,dt + \int_d^t R\,[f(t)]^2\,dt.$$

Потери за этот же период, но с установленными компенсаторами

$$Q_2 = R\int_a^b [f(t) - I]^2\,dt + R\int_c^d [f(t) - I_k]^2\,dt + R\int_o^a [f(t)]^2 \times$$
$$\times\,dt + R\int_b^c [f(t)]^2\,dt + R\int_d^t [f(t)]^2\,dt.$$

Разница составит:

$$Q_1 - Q_2 = 2R\int_o^b f(t)\,I_k\,dt + 2R\int_c^d f(t)\,I_k\,dt - R\,I_k^2\,ab -$$
$$- R\,I_k^2\,cd - I_k\,ck_2. \qquad (7')$$

Эффект на каждый установленный ампер конденсатора:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{I_k} = 2R\int_a^b f(t)\,dt + 2R\int_c^d f(t)\,dt - R\,(ab + cd)\,I_k -$$
$$- k_2\,c. \qquad (7)$$

Из последнего выражения видно, что эффект постановки компенсатора у потребителя возрастает с увеличением разности между безваттными ампер-часами, отпущенными станцией за время работы потребителя [первые два члена первой части уравнения (7)], и ампер-часами, выработанными компенсатором [третий член уравнения (7)], иначе говоря, возрастает с увеличением площади $AB\,b'a' + CD\,d'c'$ (рис. 8).

Из полученного уравнения (7) и рис. 8 ясно, что эффект от установки конденсатора будет тем больше, чем больше площадь суммарного графика индуктивной нагрузки группы потребителей, расположенная над индивидуальным графиком работы данного приемника-двигателя.

Этим и нужно руководствоваться при определении очередности компенсации двигателей, характеризующихся различными режимами работы, а именно: в первую очередь необходимо компенсировать тот электродвигатель, который работает в период максимума суммарного графика, иначе говоря, обладает наибольшим коэфициентом попадания в максимум и обладает наибольшим числом часов использования.

Чтобы ответить на вопрос об экономических пределах индивидуальной компенсации для этого случая (различных режимов работы двигателей), допустим в первом приближении, что коэфициент одновременности данной группы потребителей $n_t = 1$, или, иначе говоря, что максимум графика нагрузки данной группы двигателей равен сумме максимумов индивидуальных графиков[1]).

Если теперь построить график индивидуальной нагрузки данной группы двигателей по продолжительности, то на основе сказанного выше будет ясно, что наибольшая эффективность компенсации будет достигнута, если установить конденсаторы у двигателей *1*, имеющего максимальное число часов использования, ибо площадь $\int_o^n f(t)\,dt$ будет для него максимальной.

Далее, рассуждаем следующим образом.

Если компенсатор, установленный у указанного потребителя *1*, обладает мощностью $\frac{1}{k}$ мощности потребителя, его можно рассматривать состоящим из k потребителей, один из которых скомпенсирован до единицы. Так как все эти потребители равноценны как по месту, так и по остальным характеристикам, то, если выгодна компенсация одного из них до $\cos\varphi = 1$, и остальные выгодно компенсировать также до $\cos\varphi = 1$, если мощность компенсатора достаточна.

Таким образом мы приходим к тому, что весь первый потребитель должен быть компенсирован до $\cos\varphi = 1$, прежде чем компенсировать второй.

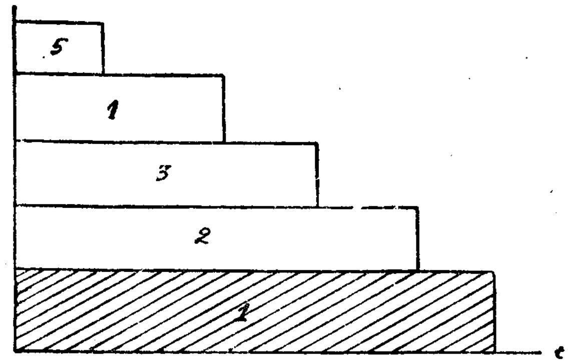


Рис. 9.

После компенсации первого потребителя полностью, график $I = f(t)$ представится в виде, изображенном на рис. 9[2]).

Приведенные рассуждения можно повторить и для второго по числу часов пользования потребителя и, таким образом, если окажется выгодным, его также нужно будет компенсировать до $\cos\varphi = 1$.

Критерий выгодности легко определится из формулы (7') путем диференцирования ее по I_k:

$$I_k = \frac{\int_o^{n_1} f(t)\,dt}{n_1} - \frac{c_k}{2\,n_1\,R}. \qquad (8)$$

Условие

$$I_k > I_{n1}.$$

Таким образом ответы на поставленные в настоящем разделе вопросы об очередности в пределах индивидуальной компенсации могут быть сформулированы следующим образом.

1. Из группы двигателей, подлежащих компенсации, в первую очередь следует устанавливать конденсаторы у тех электродвигателей, которые расположены в наибольшем расстоянии от источника энергии и обладают наиболее полным графиком, наибольшим числом часов использования и наибольшим коэфициентом вхождения в максимум группы.

2. Критерием для суждения об очередности индивидуальной компенсации является величина произведения „расстояния от станции“[3]) на „площадь группового графика над графиком двигателя“ (см. выше). Чем это произведение больше, тем выше эффективность компенсации.

3. Экономический предел индивидуальной компенсации равен $\cos\varphi = 1$, причем выгодность компенсации определяется по формулам (6) и (8). Таким образом все двигатели, характеристики коих обусловливают „выгодность компенсации“, компенсируются до $\cos\varphi = 1$.

IV. Регулирование компенсации и выбор мощности конденсаторов для индивидуальной компенсации

Выше, придя к выводу о целесообразности и необходимости индивидуальной компенсации, мы определили экономический предел компенсации $\cos\varphi_э$ отдельных электродвигателей, каковой оказался $\cos\varphi_э = 1$.

В связи с этим естественно возникает вопрос о практической возможности такой компенсации и возможности регулирования $\cos\varphi$ в зависимости от нагрузки. Возникает опасение трудности осуществления подобной компенсации статическими конденсаторами в связи с возможностью образования емкостного сдвига фаз при холостом ходе и малых нагрузках двигателя.

---

[1]) Отказ от этого допущения чрезвычайно усложняет анализ вопроса. Между тем, нам кажется возможным установить общую закономерность и сформулировать некоторые выводы на основе анализа лишь этого частного случая.

[2]) Незаштрихованная часть.

[3]) Здесь, как и выше, во всем предыдущем изложении, под „расстоянием от станции“ имеется в виду длина, приведенная к одному сечению и одному напряжению и учитывающая омическое сопротивление, эквивалентное сопротивление трансформатора.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Напомним прежде всего обычную схему присоединения конденсаторов к двигателю (рис. 10).

При применении такой схемы конденсаторы включаются и отключаются от сети одновременно с электродвигателем, составляя с последним единый агрегат. В этом случае поэтому отпадает один из недостатков применения статических конденсаторов для групповой компенсации, именно невозможность регулирования cos φ и возможность получения емкостного сдвига фаз при уменьшении нагрузки вследствие отключения части электродвигателей.

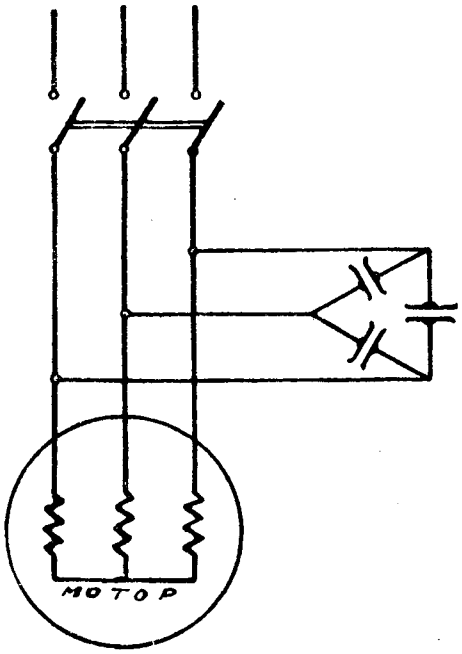


Рис. 10.

Однако опасения образования низкого cos φ (большой опережающий сдвиг фаз) при понижении нагрузки данного электродвигателя, соединенного с конденсаторами, рассчитанными на полную компенсацию, сохраняет силу и при этой схеме.

Посмотрим, как следует выбирать емкость конденсаторов для того, чтобы коэфициент мощности агрегата двигатель-конденсатор был всегда, при всех нагрузках от полной до холостого хода, близок к экономическому значению, т. е. к cos $\varphi_э = 1$.

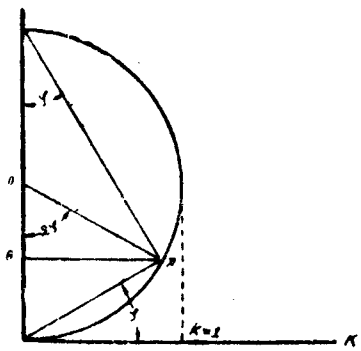


Рис. 11.

Рассмотрим для этого круговую диаграмму идеального асинхронного двигателя, не имеющего намагничивающего тока [1]). Тогда реактивный ток, в зависимости от загрузки двигателя по вращающему моменту, будет расти по дуге (рис. 11).

Выведем общее выражение для cos φ этого идеального двигателя. Если коэфициент загрузки двигателя по моменту обозначим через k, то тогда (рис. 11), если принять $OA = 1$, получим:

$$AB = k \text{ или } k = \sin 2\varphi,$$

откуда

$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{\frac{1-\sqrt{1-k^2}}{1+\sqrt{1-k^2}}}$$

и

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{1+\sqrt{1-k^2}}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1+\sqrt{1-k^2}} \qquad (9)$$

Допустим, что двигатель обладает опрокидывающим моментом, в два раза большим нормального. Тогда при полной нагрузке его $k = 0{,}5$, а

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1+\sqrt{1-0{,}5^2}} = 0{,}965.$$

Если двигатель работает при средней нагрузке, равной 80%, т. е. при $k = 0{,}4$, то

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{1+\sqrt{0{,}84}} = 0{,}98.$$

[1]) И не имеющего потерь в статоре.

Из данных видно, что двигатель, не имеющий намагничивающего тока, обладает коэфициентом мощности, весьма близким к экономическому пределу, именно единице. Действительно, основным злом асинхронных двигателей в данном случае является ток холостого хода, достигающий в мощных двигателях 40% номинального (рис. 12).

У нормального двигателя cos φ с нагрузкой увеличивается, а у рассмотренного нами идеального двигателя уменьшается.

Таким образом, если выбирать мощность конденсаторов равной мощности холостого хода двигателя (по его току холостого хода), то двигатель будет работать с cos φ при холостом ходе и с cos $\varphi = 0{,}97$ при полной нагрузке (см. рассматриваемый выше пример), т. е. с cos φ, колеблющимся всего лишь в пределах 3—4%.

Пример. Выберем емкость конденсаторов к двигателю 10 kW, 220 V. Ток холостого хода двигателя составляет 40%, т. е.

$$i = 0{,}2 \cdot \frac{10\,000}{220\sqrt{3}} = 5{,}2 \text{ A}.$$

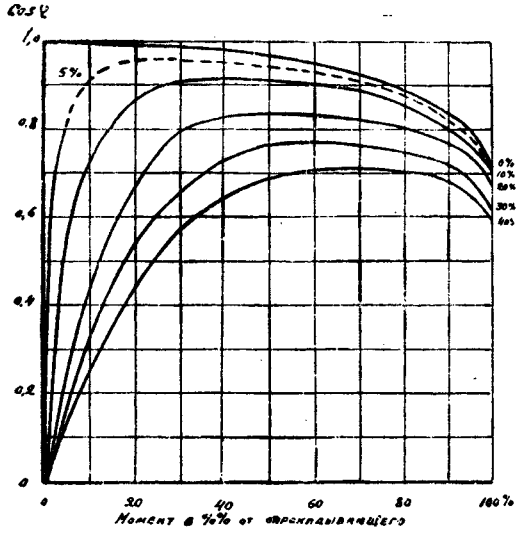


Рис. 12.

Конденсаторы соединены треугольником, тогда сила тока в конденсаторе

$$i_c = \frac{5{,}2}{\sqrt{3}} = 3 \text{ A}.$$

Тогда емкость конденсаторов на фазу

$$C = \frac{i}{E\omega} = \frac{3}{220 \cdot 314} = 4{,}3 \cdot 10^{-5} = 43 \ \mu\text{F}.$$

Всего на три фазы

$$C_3 = 3 \cdot 43 = 129 \ \mu\text{F}.$$

Выводы

1. Емкость статических конденсаторов при применении их для индивидуальной компенсации двигателей, следует выбирать по току холостого хода соответствующего двигателя.

2. cos φ данного двигателя будет практически равен единице, колеблясь от холостого хода до полной нагрузки лишь в очень незначительных пределах.

3. При таком методе выбора мощности конденсаторов, наряду с применением схемы соединения двигатель-конденсатор в один агрегат на общий рубильник, отпадает возможность образования емкостного сдвига фаз в установке и достигается как бы автоматическая регулировка cos φ.

Этим, конечно, не исчерпываются вопросы, связанные с техникой и экономикой применения статических конденсаторов. Мы полагаем, что во всем предыдущем изложении, в анализе вопросов и формулировке выводов и ответов на них, довольно ясно отразились основные технические и экономические характеристики статических конденсаторов, их существенные преимущества в сравнении с другими видами конденсаторов и, в особенности, их исключительная приспособленность для индивидуальной компенсации коэфициента мощности.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ХРОНИКА

Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетиков (ВЭНИТО)

В Москве создано Оргбюро Всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетиков (ВЭНИТО). В состав Оргбюро вошли следующие лица: акад. Кржижановский, акад. Шенфер, Ломов, Г. И., акад. Винтер, инж. Флаксерман, проф. Шпильрейн, инж. Палицын, инж. Баумштейн, инж. Цейтлин, Рубинштейн, М., проф. Вейц, Веприцев, Гемерверт, инж. Русаковский, инж. Келен, инж. Сегал, инж. Колпакова, инж. Дмитриев, проф. Эпштейн, проф. Танер-Таненбаум, инж. Дубинин, инж. Соханицкий, инж. Петров, инж. Бухштаб, проф. Петров, инж. Брагин, инж. Синица (Электрозавод), инж. Перекалин, инж, Раков, инж. Лукин, инж. Голубцов, инж. Жердов („Динамо"), инж. Соколов (завод. им. Лепсе), т. Ольховский (ЦК ВЛКСМ).

Председатель Оргбюро т. Флаксерман, зам. председателя проф. Шпильрейн, инж. Палицын и инж. Баумштейн. Ученый секретарь инж. Цейтлин.

В круг деятельности Общества энергетиков входят вопросы электроэнергетики, теплоэнергетики, электрификации основных отраслей народного хозяйства, энергетическая промышленность, а также вопросы энергетических ресурсов. В соответствии с этим при Оргбюро создаются следующие секции: электроэнергетическая, охватывающая вопросы строительства и эксплоатации электрических станций, сетей и систем, вопросы электромашиностроения и аппаратостроения; теплоэнергетическая, охватывающая вопросы тепловых станций и сетей, теплофикации, котло- и турбостроения; секция энергоресурсов—разработка энергетических балансов Союза и отдельных районов; секция электрификации основных отраслей народного хозяйства. Наряду с этими специальными секциями при Оргбюро Общества создаются общие сектора: техпропаганды и кадров—для руководства всей работы по повышению квалификации членов Общества и по массовой работе Общества в области техпропаганды; организационно-массовый—по руководству работы ячеек на местах; редакционно-издательский—по работе с соответствующими издательствами и периодическими изданиями и по разработке плана издательства по вопросам энергетики и сектор консультации и экспертизы—по организации массовой экспертизы, общественных просмотров проектов и т. д.

Наряду с организацией работы в центре ВЭНИТО приступает к развертыванию сети своих отделений на местах, в промышленных центрах Союза и при отдельных предприятиях. В первую очередь, предполагается организовать областные и краевые отделения Общества в Москве, Ленинграде, Свердловске (Урал), Ростов н/Дону (Сев. Кавказ) и республиканские отделения в ряде республик Союза. В Харькове уже существует республиканское Всеукраинское отделение Общества энергетиков, в которое влился УЭК.

В настоящее время ведется работа по организации ячеек, ВЭНИТО при предприятиях и учреждениях; уже существуют ячейки при заводе „Динамо", Электрозаводе, при Главэнерго Электропроме и пр. В ближайшее время должны быть созданы ячейки при Теплоэлектропроекте, ВЭО, Могэсе и на ряде предприятий Союза. Отдельные ячейки уже приступают к развертыванию своей научно-технической и научно-производственной работы. Ячейка ВЭНИТО при заводе „Севкабель" наметила большую работу по исследованию вопроса о высоковольтных маслонаполненных кабелей.

Для разработки отдельных проблем предположено создать ряд бригад, например, по вопросам о типе станций, о единой высоковольтной сети, автоматизации, теплофикации, по вопросам сжигания топлива, газификации, аппаратуры, электроприводу и пр. Эти бригады должны будут разработать единую программу и, наметив темы работ, передать их для разработки отдельным ячейкам Общества и отдельным членам. Таким образом будет достигнуто наилучшее сочетание централизованного руководства с массовым вовлечением общественности в разработку технических проблем.

ВЭНИТО намечает заслушать в самое ближайшее время доклад об итогах конференции по электрификации и научно-технических проблемах энергетики второго пятилетнего плана, доклады НТС ВЭО, ЦЭС Главэнерго о технических установках второго пятилетнего плана, а также доклад ВЭК о плане его работ.

В ближайшее время ВЭНИТО предполагает приступить к организации двух циклов теплотехники и электротехники курсов по повышению квалификации своих членов, рассчитанных на 200 чел., по 100 чел. в каждом цикле. Кроме того, предполагается организовать несколько кружков по изучению иностранных языков. Программа и план работ Общества еще не разработаны и должны быть закончены в конце июля.

Секретариат ВЭНИТО временно помещается в Москве, Юшков пер. д. № 6, комн. 13.

Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ)

Отдел высоких напряжений

Прибор для измерения вакуума в катодном осциллографе

В лаборатории атмосферных перенапряжений инж. И. С. Стекольниковым разработан и исследован специальный измеритель вакуума в катодном осциллографе. Прибор, основанный на использовании принципа Пирани, дает возможность наблюдать за состоянием вакуума в любой момент, непосредственно по шкале гальванометра. В качестве накаливаемой нити с успехом использована медная проволока (вместо обычно применяемой платины). Прибор особенно важен при работе с автоматически действующими катодными осциллографами и дает возможность точно устанавливать их режим.

Катодный осциллограф с внешней с'емкой

Инж. И. С. Стекольниковым разрабатывается новый тип катодного осциллографа для внешней с'емки. Этот осциллограф должен упростить работу с ним, сокращая время, идущее на эксперимент. Фотографирование здесь производится при помощи обычного аппарата и через ленардово окно. В настоящее время уже получены скорости записи порядка 1 000 km в 1 сек.

Осциллограф разрабатывается как автоматического, так и неавтоматического действия с целью регистрирования атмосферных перенапряжений. Материалом для корпуса K осциллографа вместо применявшейся меди служит железо, чем достигается значительное удешевление и экономия металла.

Портативный катодный осциллограф

Бригадой под руководством инж. И. С. Стекольникова и инж. В. Г. Татаринцева разработан портативный катодный осциллограф, предназначенный для вызовов за пределы лаборатории. Аппарат со всем устройством, относящимся к нему, помещается на одном столе. Разработана чрезвычайно компактная высоковольтная выпрямительная установка, позволяющая получать постоянный ток напряжением до 70 000 V.

Осциллограф предназначается для работы в автоматически действующих схемах и может давать с'емки различными способами (внутривакуумная фотография, ленардово окно и др.)

Новый прибор для измерения прогиба проходных и опорных изоляторов

Под руководством инж. М. М. Горбунова в изоляторной лаборатории техником А. Н. Якобсон сконструирован прибор для измерения прогиба проходных и опорных изоляторов. До сего времени в расчетах принимались весьма условные коэфициенты по прогибу из американских литературных источников; изоляторная лаборатория, поставив целью дать коэфициент для всех советских стандартных типов проходных и опорных изоляторов, с помощью созданного ею прибора определяет коэфициенты прогибов. Прибор весьма прост и обладает большой чувствительностью, давая при зеркальном отсчете показатели с точностью до 0,001.

Штанга для определения дефектных подвесных изоляторов

В изоляторной лаборатории на основании произведенных исследований существующих штанг инж. В. К. Кожуховым и инж. Ю. А. Лебедевым сконструирована упрощенная штанга для определения дефектных подвесных изоляторов. Выпуск таких штанг на наших заводах должен совершенно прекратить импорт германских и других заграничных штанг. С целью внедрения новой штанги ВЭИ организовал у себя производство первой опытной партии в 100 шт. Помимо всесторонних исследований в ВЭИ первые образцы штанг были проверены на линиях Могэс, показав положительные результаты.

Техпроп ВЭИ **П. А. Примаковский**

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

БИБЛИОГРАФИЯ

„Введение в современное учение об электричестве"

Р. В. ПОЛЬ, проф. Геттингенского университета. **Введение в современное учение об электричестве**, перевод с немецкого Л. А. Тумермана под ред. проф. Я. Н. Шпильрейна, издание 2-е исправленное и дополненное ГНТИ 1931 г., стр. 344, цена 4 р. 45 к.

Несомненным достоинством книги Р. В. Поля является то, что в ее основе лежит единая концепция электромагнитных процессов, концепция, которую автор с большой систематичностью, ясностью и простотой проводит через все части своего труда на основе богатого экспериментального физического и технического материала.

Р. В. Поль квалифицирует свою книгу как „Введение в современное учение об электричестве". Но ошибется тот читатель, который приобретет книгу Поля в надежде найти в ней изложение результатов, достигнутых развитием физики за три десятка лет нашего столетия. „Современное учение об электричестве" Поля—это учение, сложившееся к концу 19-го столетия в форме теории электронов, как синтеза воззрений Фарадея-Максвелла и старых атомистических представлений Ампера-Вебера. Вот почему в книге Поля нет изложения теории строения атомов, теории квант, волновой механики, т. е. главных достижений физики 20-го столетия. Неточным, следовательно является утверждение редактора книги Поля, что „учебники физики", все еще придерживаются изложения „классической физики", почти совершенно игнорируя громадную работу, проделанную физиками нашего столетия и что „этот пробел заполнен в области электричества и магнетизма германским физиком Р. Полем".

Правда, Поль для обоснования атомной структуры электричества пользуется современным экспериментальным материалом, но это еще не значит, что он излагает современное учение об электромагнетизме в точном смысле слова. Можно, конечно, сослаться на трудность элементарной характеристики современной физической теории. Однако эта трудность не более велика, чем в случае физики 19-го столетия. Поэтому мы вправе предположить, что проф. Поль исключил современную физическую теорию из рамок своей книги, считая эту теорию не настолько еще установившейся, чтобы ее можно было излагать в учебнике.

Такого рода консерватизм—самое обычное явление среди авторов учебных руководств—имеет своим субъективным основанием незнание диалектики, которая одна лишь дает возможность ясно и отчетливо различать в бурном и противоречивом хаосе нового контура несомненной завоеванной истины.

Приведенные замечания отнюдь не следует понимать так, что мы считаем взгляды, изложенные Полем, несовременными. Напротив, мы полагаем, что они ультрасовременны, но что эта их современность сделалась бы еще более очевидной и убедительной, если бы Поль последовательно развил их для элементарного освещения современной теории строения атомов, теории квант и волновой механики.

Одним из самых убедительных доказательств истинности взглядов Фарадея-Максвелла и Лоренца, излагаемых Полем, является все большее и большее подтверждение этих взглядов в физических теориях и опытах последних десятилетий. Это следовало бы показать Р. В. Полю, и тогда его книга действительно была бы введением в современное учение об электромагнетизме в точном смысле понятия. Отсутствие такого показа—несомненный дефект книги. Поскольку, однако, Поль излагает хотя бы в урезанном и несовершенном виде современное учение об электричестве, да притом излагает оригинально и с мастерством, его книга принесет несомненную пользу читателю.

Книгу проф. Поля необходимо тем более похвалить, что среди современных буржуазных профессоров даже робкая материалистическая тенденция является антикварной редкостью. Материализм проф. Поля является, однако, непоследовательным или употребляя выражение Энгельса, „стыдливым материализмом", т. е. агностицизмом естествоиспытателя, который боится вступить в конфликт с реакционной идеологией. Вот почему в книге Поля мы находим непоследовательную эклектическую смесь различного рода принципиальных положений материалистического и эмпириокритического характера.

Так, центральная концепция книги Поля сводится к тому, что „в конечном счете вся материя состоит из электрических полей и их концов атомов электричества" (стр. 64). Поль называет атомы электричества электрической субстанцией. „Вместо электрической субстанции—пишет Поль (стр. 33)—употребляются также слова „электрический заряд" или „количество электричества". Мы предпочитаем, однако, термин „электрическая субстанция", так как мы не знаем никаких субстанций, которые не состояли бы из отдельных атомов, а существование положительных и отрицательных атомов электричества имеет существенное значение для всей нашей физической картины мира". Поль подчеркивает, что нет ныне оснований проводить „принципиальное различие между электрической и обыкновенной субстанцией" (стр. 64).

На стр. 261 книги мы находим редкое место, в котором говорится „о материальном характере атомов электричества". Неискушенный читатель может подумать, что субстанция проф. Поля не что иное, как материя. Это, однако, не так. Понятие субстанции может иметь весьма различный смысл, материалистический и идеалистический. Агностицизм Поля проявляется именно в том, что он не дает точного определения употребляемого им основного понятия. Поль довольствуется тем, что на основании опыта устанавливает бытие некой электрической субстанции дуалистической природы и атомного строения. Повидимому, дальнейшее определение природы этой субстанции Поль переуступает философам. Пусть философы определят, является ли электрическая субстанция материей, а ее атомы материальными атомами, или, быть может, атомы субстанции это атомы энергии монады Лейбница, непротяженные центры сил Босковича и пр. Поль об этом ясно не говорит, но некоторые его формулировки заставляют подозревать такого рода точки зрения. Вот некоторые из этих весьма характерных формулировок.

„Мы спрашиваем далее: что же находится в этом промежуточном пространстве (между заряженными телами). Физик отвечает на этот вопрос: „электрическое поле". Сначала это кажется просто словом, которое мы употребляем там, где нам нехватает понятий. Однако это не так. Электрическое поле—это термин, с которым физик связывает вполне определенные представления, заимствованные исключительно из опыта" (стр. 26). „Электрическое поле является особым состоянием пространства. Мы будем знакомиться с ним исключительно на основании опыта" (стр. 23),

„Магнитное поле также является особым состоянием пространства, которое может быть изучено только с помощью опыта" (стр. 91).

Прямо бросается в глаза подчеркивание слов „исключительно на основании опыта". Что это значит? В каком смысле толкует Поль понятие опыта, какой еще существует метод изучения, помимо изучения „исключительно на основании опыта"? Поль об этом не говорит, но всякий более или менее знакомый с эмпириокритической философией тотчас же по когтям узнает махистского „льва". Как известно, понятие опыта имеет основное значение для определения философской линии. Это понятие можно употреблять как в материалистическом, так и индеалистическом смысле. Приведенные и другие формулировки проф. Поля показывают, что он в трактовке понятия опыта сбивается на путь *философии* Маха-Авенариуса. „Изучение исключительно на основании опыта" проф. Поля—это, повидимому, противопоставление метафизике, которая не желает довольствоваться „чистым" и „экономическим описанием ощущений", а дерзко стремится проникнуть в „сущность" вещей и процессов. В частности, диалектико-материалистическая физика не имеет никакого намерения ограничиться определением электрического или магнитного поля как „особого состояния пространства, которое может быть изучено только с помощью опыта" в смысле Маха-Авенариуса.

Методология диалектического материализма требует не формального, хотя бы прикрываемого импонирующим словом „опыта", а существенного определения понятия электромагнитного поля, т. е. определения тех форм движения материи, которые порождают явление такого поля. Точно так же методология диалектического материализма рассматривает электрические атомы как особые формы движения материи, подлежащие дальнейшему существенному исследованию, а не как идеалистические „вещи в себе", и познание которых

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

возможно лишь в феноменологическом или трансцендентальном плане. Современная наука, подтверждая правильность такой точки зрения, уже сделала некоторые шаги по пути проникновения в недра электрических атомов [1]).

Если внимательно проанализировать, насколько проф. Полю удается держаться в рамках „изучения исключительно на основании опыта" в эмпириокритическом смысле понятия, нетрудно убедиться, что эти рамки необходимо и неизбежно нарушаются автором, когда он желает быть верным подлинно научному воззрению Фарадея-Максвелла.

Вот пример из главы IV („Связь электрического и магнитного полей"), в которой наш автор дает понятие об уравнениях Максвелла-Герца. В § 46 проф. Поль пишет: „Представим себе индукционный опыт, выполненный в особых условиях. Катушка, состоящая из одного единственного витка, охватывает по произвольной кривой некоторую площадь, пронизанную перпендикулярными к ней линиями магнитного поля. Это магнитное поле изменяется в секунду на величину $\dot{H}$, иначе говоря $\dot{H}$ есть скорость его изменения. В этом случае измеряемое нами индуктирование напряжение $U_{ind} = \mu n \dot{H} F$ вольт." С точки зрения „чистого опыта" здесь, пожалуй, следовало бы поставить точку. Но проф. Поль делает неожиданный скачок за пределы „чистого опыта" и говорит:

„Рассматривая явление глубже, мы можем истолковать этот экспериментальный факт следующим образом: проводник или наш виток проволоки является чем-то несущественным и побочным. По существу дела процесс совершенно не зависит от наличия или отсутствия проволочного кольца. Он заключается в возникновении кольцеобразных замкнутых линий электрического поля, которые охватывают изменяющееся магнитное поле".

Читатель, даже неискушенный в тонкостях логического мышления, немедленно заметит здесь отсутствие какой-либо логической связи, наличие весьма странного логического скачка. Почему из описанного Полем индукционного опыта следует, что проводник или виток проволоки „является чем-то несущественным и побочным"?

Почему „по существу дела процесс совершенно не зависит от наличия или отсутствия проволочного кольца"? Какой „чистый опыт" обнаруживает бытие замкнутых электрических силовых линий независимо от „ощутимых" вещественных предметов.

Проф. Поль говорит о „более углубленном толковании явлений", а это именно и означает, что он не в состоянии об'яснить своих положений, не выходя за пределы пресловутого „чистого опыта" эмпириокритической философии. Можно, разумеется, прибегнуть к понятию научной фикции. Замкнутые электрические силовые линии это мол—фикция, рабочая гипотеза, служащая для экономического описания ощущений. Но тогда возникает вопрос: почему именно такого рода фикция (существующая кстати в форме световых волн в бесконечно удаленных пространствах, где нет никаких „систем ощущений), а не какая-либо иная дает „экономическое" описание ощущений. Эмпириокритики не в состоянии вразумительно ответить на этот вопрос, не прибегая к богословской „предустановленной гармонии". Но тогда необходимо включить в физику понятие бога, т. е. стать на последовательно идеалистическую точку зрения. Идеология современного разлагающегося капиталистического общества уже подошла вплотную к такого рода „новой физике", чему материалисты могут только радоваться, ибо открытый враг лучше скрытого, замаскированного.

Во всяком случае, поскольку проф. Поль не имеет намерения синтезировать физику и теологию, он должен выбросить в помойную яму „чистый опыт" и признать об'ективное существование электромагнитных силовых линий как выражений особых форм движения материи, существующих в об'ективных пространстве и времени.

Если бы проф. Поль решительно пошел по этому пути, его изложение сделалось бы строго научным, он сумел бы не только формально, но и по существу дать в своей книге элементарное понятие об учении Фарадея-Максвелла-Лоренца в том виде, в каком оно было сформулировано творцами современной теории электромагнетизма и теоретической электротехники. Проф. Поль не побоялся бы тогда также дать характеристику основ теории квант, волновой механики, учения о строении атомов, так как правильное понимание старого есть методологическое орудие для правильной оценки нового.

К сожалению, проф. Поль предпочитает позицию агностицизма, так что его книга—это пестрое сочетание материалистических и идеалистических тенденций; его об'яснения—лишь полуоб'яснения и недоговоренности.

При всем этом мы считаем возможным рекомендовать книгу Поля нашему читателю. Этот читатель настолько вырос, что легко сумеет отделить в книге положительные научные элементы от привходящих отрицательных. Невозможно требовать от современного буржуазного ученого, живущего в атмосфере острого кризиса капиталистического общества, чтобы он был последовательным материалистом. Даже самые выдающиеся научные умы капиталистического мира, как Эйнштейн, Планк, Джимс, Эддингтон, Милликен и др. ныне скатываются к идеализму и фидеизму. Если поэтому в работах буржуазных специалистов имеются прогрессивные материалистические стороны, необходимо их всемерно использовать для укрепления позиции диалектического материализма.

В этом именно смысле высказался В. И. Ленин, говоря о книге Древса [1].

По сравнению с архиидеалистическими и, следовательно, антинаучными установками многих других книг по физике книга проф. Поля в общем ориентирует мысль читателя в сторону материализма. Ее перевод и издание являются поэтому допустимыми и в известной мере полезными. Желательно лишь было бы, чтобы предисловие к книге было более обстоятельным в смысле характеристики и положительных и отрительных сторон философской установки автора.

В заключение считаем необходимым отметить некоторые существенные опечатки, которые могут сильно дезориентировать неподготовленного читателя. Именно, в главе IV, посвященной уравнениям Максвелла, опущены и неясно набраны дифференциальные знаки (точки) при обозначениях ($\dot{H}$ и $\dot{E}$) скоростей изменения магнитного и электрического полей, что может привести к смешению этих скоростей ($\dot{H}$ и $\dot{E}$) с величинами H и E самых полей, т. е. к неверному пониманию уравнений Максвелла-Герца.

З. Цейтлин

[1]) См. например, Дж. Томсон, „За пределами электрона", „Успехи физических наук" 15, 1928, см. также книжку А. Газа о волновой механике, в которой, правда, дано лишь формальное освещение вопроса.

[1]) См. статью „О значении воинствующего материализма".

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

Тематический указатель статей журнала „Электричество" за 1931 г.

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Вопросы генерального плана электрификации СССР		
Вольф М. М. Задачи электрификации сельского хозяйства СССР	20	1115
Гарденин С. Первый областной энергетический с'езд ЦЧО	20	1119
Гольденберг Ю. М. Электрификация УССР и перспективы использования местных энергоресурсов	15	820
Гольденберг Ю. М. Задачи электрификации УССР во второй пятилетке	19	1051
Гольденберг Ю. М. Подготовка к генплану электрификации УССР	23—24	1314
Грановская М. Н. Развитие энергетического хозяйства Урало-Кузбасса	11	562
Зворыкин А. А. Электрификация и пути развития топливного хозяйства	17	932
За единую высоковольтную сеть Союза	12	597
За большевистские темпы в научно-исследовательской работе по электрификации СССР	14	743
Иоффе А. Ф. Энергетические проблемы, выдвигаемые современной наукой	14	745
Красовский Н. В. Ресурсы ветровой энергии СССР и проблема ее использования	22	1250
Ломов Г. И. Генеральный план электрификации СССР	11	541
Ломов Г. И. О встречном плане электрификации	19	1049
Ломов Г. И. Против „левых" заскоков при составлении генплана электрификации	21	1181
Мануйлов Г. А. За правильную методологию планирования потребности СССР в электроизделиях	7	379
Материалы к перспективному плану электрификации БССР	23—24	1312
Основные вехи 2-й пятилетки электрификации Дагестанской ССР	23—24	1315
Прелков В. Г. Электротехнические проблемы Урало-Кузнецкого комбината	11	573
Первая Всесоюзная конференция по передаче больших мощностей на большие расстояния токами сверхвысоких напряжений	13	713
Предварительные наметки плана электрификации БССР	23—24	1309
Рубинштейн М. Вопросы технической реконструкции в перспективном плане	8	403
Таньпетер. Перспективы электроснабжения Нижегородского края	20	1117
Вопросы теоретической электротехники		
Жежерин Р. К анализу симметричных кривых переменного тока	7	36
Залесский А. М. Номограмма для определения разрядного напряжения между шарами	6	314
Касьянов В. Т. Электрическая машина двойного питания как общий случай машин переменного тока	22	1282
Кржижановский Г. М. Учение Фарадея в свете классовой борьбы и строительства социализма в СССР	23—24	1319
Ломоносова Л. А. Диаграммы напряжений несимметричного установившегося короткого замыкания трехфазного синхронного генератора	11	577
Матюхин В. Демпферный момент синхронной машины при параллельной работе с мощной сетью	20	1046
Москвитин А. И. Аналитический метод расчета моторов Бушеро	20	1143
Самойлович Г. А. Природа электрического сопротивления металлов	18	990
Ситников Н. М. Проблема введения очень высоких потенциалов в разрядную трубку	23—24	1355
Тамм И. Е. Основные идеи Фарадея и их роль в развитии науки об электричестве	23—24	1321
Вопросы рационализации электрохозяйства		
Морозов Д. П. и Сазонов Н. А. Коэфициент мощности по одному из районов Донбасса и мероприятия по его улучшению	20	1126
Рыльцев Г. Н. К проекту улучшения косинуса фи на Краматорских заводах	22	1255
Вопросы электрохозяйства капиталистических стран		
Вейц В. И. Кризис перепроизводства в капиталистических странах и проблема сбыта электроэнергии	12	600
Вейц В. И. Технико-экономические проблемы энергетики на данном этапе всеобщего кризиса капитализма	13	677
Вейц В. И. Технико-экономические проблемы энергетики на данном этапе всеобщего кризиса капитализма	15	817

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Вейц В. И. Технико-экономические проблемы энергетики на данном этапе всеобщего кризиса капитализма	16	881
Вопросы электрификации промышленности		
Апаров Б. П. О конструкциях центрофуг для фабрик искусственного шелка	2	65
Воробьев В. И. и Калантаров П. Л. Об уравновешивании трехфазной системы токов в печах с несимметричным подводом тока	19	1065
Карпов В. А. Современное электрооборудование автомашин	2	69
Кислюк Ф. Динамические свойства сварочных машин	20	1134
Стендер В. Пути развития советской электрохимии	23—24	1307
Фридкин П. А. Электрокардная машина	6	326
Вопросы электрификации сельского хозяйства		
Лигоцкий Л. П. Опыт применения мощных электроинкубаторов	14	796
Вопросы электрификации транспорта		
Аватков Е. С. О выборе системы электрической тяги	15	838
Блинкин С. С. К вопросу о расчете трамвайной рельсовой сети постоянного тока	7	369
Бобриков В. Н. Влияние тягового тока на линии связи	19	1053
Борисовский С. В. Синхронный фазный преобразователь для электровозов	4	180
Изюров В. А. Конструкция электровоза для Сурамского перевала	11	552
Коновалов В. Н. Железные контактные провода на заграничных железных дорогах	8	416
Малько Н. Газобезопасная аппаратура рудничных аккумуляторных электровозов завода „Динамо"	11	560
Минов Д. К. Электрический расчет железнодорожной сети при постоянном токе	2	87
Минов Д. К. Основы расчета гибких поперечин контактного оборудования электрических железных дорог	4	186
Минов Д. К. Простой способ определения нагревания тягового электродвигателя	15	844
Минов Д. К. Расчет отклонения контактного провода ветром при цепной подвеске	21	1201
Рашковский Л. Г. Ртутный выпрямитель в электрической тяге	9	466
Рывкин Ю. Работа рельсовой сети	11	556
Рывкин Ю. К вопросу о выборе наивыгоднейшего расстояния между подстанциями при электрификации железных дорог	7	368
Розен К. О. О тепловозной тяге на железных дорогах СССР	7	375
Розенфельд В. О выборе скорости начала торможения на электрических железных дорогах	13	698
Сидоренко Г. А. и Сталь И. О. К расчету сопротивления рельсовой сети электрических железных дорог	11	558
Цовьянов Т. К вопросу о системе тока для электрической тяги	21	1206
Шевалин В. А. Расчет сцепной подвески контактного провода на отклонение ветром	15	840
Шенфер К. И. Рекуперация электрической энергии при тяге на постоянном токе	10	494
Шлыгин В. Тепловоз с электрической передачей для СССР	11	547
Шляхто В. Осциллографирование при движении поезда	13	708
Шпильрейн Я. Н. и Коновалов В. Н. К расчету токораспределения в рельсовом пути с железными поперечными соединениями	6	317
Вопросы автоматизации управления в электроустановках		
Бранденбургер В. И. Автоматическое телеуправление	17	956
Бранденбургер В. И. Автоматическая телерегулировка	17	962
Брандербургер В. И. Электрическое телеизмерение	17	965
Голиков А. Автоматическое управление электроустановками	8	412
Колмак А. В. Автоматические пусковые приборы для электродвигателей	17	942
Вопросы электромашиностроения		
Аверин А. и Крохин А. Электрический мостовой кран 100/15 тонн Чгрэс	10	522
Алексеев Е. А. и Лютер Р. А. Синхронные машины для мощных районных систем	12	604
Бергер А. Я. Вибрация станины турбогенератора	19	1059
Горохов Н. В. Упрощение расчета ступеней реостата асинхронного двигателя	14	777
Комар Е. Г. О применении алюминиевой обмотки в роторах турбогенераторов	15	854
Краузе С. В. Сравнение конструкций и основных параметров в турбогенераторах Сименс-Шуккерта, Броун-Бовери и Метро-Виккерса	18	1001

Свободная областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Красовский Б. Н. Механические напряжения в обмотке полюсов быстроходных синхронных машин	14	749
Ларионов А. Н. Предельные мощности и напряжения машины постоянного тока	20	1124
Мажуга В. Д. Механические напряжения в роторе турбогенератора	9	456
Москвитин А. И. Расчет мотора с глубоким пазом ротора	14	757
Нелидов И. Перспективы развития советского турбогенераторостроения	5	275
Плющ Б. Асинхронный двигатель с ротором из железных пластин	23—24	1360
Попов В. К. Работа синхронного двигателя с маховиком при приводе поршневого компрессора	14	764
Розен К. О. Работа электродвигателя с автоматическим регулятором скорости	6	322
Розен К. О. Рациональная схема автотрансформаторного запуска синхронного двигателя	8	430
Сазонов Н. А. Электрические и эксплоатационные характеристики турбогенераторов	18	997
Сазонов Н. А. Определение температуры нагрева обмотки возбуждения в турбогенераторах	21	1197
Шенфер К. И. Высоковольтные машины постоянного тока	8	422
Шенфер К. И. Короткозамкнутые асинхронные двигатели с высоким пусковым моментом	9	453
Шенфер К. И. О методах гашения магнитного поля в больших синхронных машинах	20	1121

Техника высоких напряжений сети, крупные электрические системы

Айклендер А. Г. и Вайсман Е. Л. Исследование методов расчета короткого замыкания	2	80
Барзам А. О проектировании дистанционной защиты	21	1215
Богоявленский Л. Н. О влиянии геофизических факторов на поражаемость местности молнией	5	266
Брон О. Б. Причина износа контактов, контакторов и контроллеров	9	469
Буткевич Ю. В. Железные токоограничивающие сопротивления	13	703
Виноградов Н. П. Метод расстановки опор по профилю линии электропередачи в случае применения подвесных изоляторов	1	10
Виноградов Н. П. Опоры для линии электропередачи напряжением 400 киловольт и выше	16	904
Вертебный В. И. Выбор первичного напряжения для силовых и осветительных трансформаторов	3	
Воронин А. В. и Сталь И. О. О выборе метода механического расчета проводов линий передач	8	
Воронин А. В. и Сталь И. О. Повышение опоры работающей линии передачи	15	
Вульф А. А. Расчеты устойчивости работы Свирской гидроэлектростанции на Ленинградскую сеть	20	
Гвинчидзе А. М. Упрощенный расчет железных проводов для линии передач	10	
Гвинчидзе А. М. Последовательно-параллельный пуск короткозамкнутых моторов	14	
Гвинчидзе А. М. Номограммы для упрощенного расчета железных проводов для линий передачи	16	
Глазанов В. Н. Высоковольтная защита в САСШ	15	
Горохов Н. В. Графоаналитическое исследование параллельной работы динамомашин	16	
Городецкий С. и Карасев В. Случай определения места повреждения кабеля при неустойчивом переходном сопротивлении	22	
Дарманчев А. К. Современные принципы правил включения в сеть индукционных двигателей	7	
Денисюк И. Н. Механический расчет провода с сосредоточенными нагрузками в пролете	14	
Девятков Н. Д. Разрядники для защиты линий слабого тока	22	
Добров Н. В. За советский рентген	10	
Денисюк И. Н. Механический расчет провода с сосредоточенными нагрузками в пролете	23—24	
Егоров В. Г. Ориентировочный расчет железных шин для распределительных устройств переменного тока	1	
Жданов П. С. Устойчивость параллельной работы станций, питающих асинхронную нагрузку	14	
Жданов П. С. Устойчивость при передаче больших мощностей	23—24	
Залесский А. М. Определение давления в масляном выключателе	1	
Залесский А. М. Провода и изоляторы для линий очень высоких напряжений	12	
Зилитинкевич С. И. Уравнение тока в приборах с чисто электронным разрядом	14	

Электронная областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Иванов К. И. Простая и надежная защита линий высокого напряжения с заземленной нейтралью	9	464
Ильиченко В. И. Пространственные диаграммы потерь мощности в электропередачах	18	1018
Иогансон Н. Железо-алюминиевый провод	10	512
Иоффе А. Ф. и Вул Б. М. Краевой эффект при электрическом пробое	12	650
Каменский М. Повышение надежности эксплоатации распределительных устройств высокого напряжения соответствующим напряжением масляных выключателей	1	8
Калинин Е. В. Эксплоатационный контроль и определение пригодности проходных втулок при высоком напряжении	10	503
Калинин Е. В. Исследование перенапряжений на электрических системах	12	622
Комар Е. Определение конструктивных размеров лобовых соединений американской конусной обмотки	3	127
Колесников П. П. Простые формулы для расчета железных проводов при переменном токе	18	1026
Копытов Н. В. Условия безопасности в кабельных фабрично-заводских сетях низкого напряжения	15	848
Краснушкин Н. П. Влияние реакторов на устойчивость синхронных машин	14	790
Кратиров А. Д. Метод электрического расчета системы электропередач	12	652
Крачковский Н. Н. О применении защитного троса на деревянных опорах	12	620
Кругляков А. М. Связь подстанций и станций по проводам линий высоких напряжений	5	263
Лебедев В. Н. Упрощенный расчет экономического пролета линий передач	4	177
Лебедев С. А. Устойчивость параллельной работы крупных электрических станций	5	251
Миролюбов. Н. Индуктивное влияние линий передач высокого напряжения на провода слабого тока	5	260
Моисеенко-Великий Н. С. К расчету высоковольтных сетей больших протяжений	13	686
Никогосов С. Н. и Карасик М. И. Выбор напряжения распределительной сети низкого напряжения	19	1073
Палицын И. С. и Дубинин А. Н. Испытание масляных выключателей в эксплоатационных условиях	22	1272
Палицын И. С. и Дубинин А. Н. Испытание масляных выключателей в эксплоатационных условиях	23—24	1345
Пинес Н. М. Мигание света в электротехнических сетях вследствие крутильных колебаний роторов электрических машин	4	193
Попов К. К. и Чернышев А. А. Устройство для экспериментального определения угла устойчивости	5	247
Розенберг Б. И. Электродинамические усилия в шинах, вызываемые токами короткого замыкания	3	129
Роках Р. и Беляков. Как создать грозоупорные линии	16	886
Роках Р. К пересмотру норм по заземлениям	23—24	1343
Ситников М. М. и Чернышев А. А. Современное состояние передачи энергии постоянным током и перспективы дальнейшего развития	12	614
Слонним А. Я. Развитие конструкций распределительных устройств высокого напряжения	22	1260
Смуров А. А. За решительный отказ от дроссельных катушек	9	462
Смуров А. А. Физическая природа явлений при разрядах в форме импульсов	10	514
Сорокин А. В. По вопросу о нормах для механического расчета линий передач	1	14
Стецулла И. В. и Сиунов Н. С. Заземление в скалистых грунтах	10	500
Стекольников И. С. и Щербаков В. К. Американские разрядники Autovolue и Thyrite	15	834
Телов И. С. Алюминиевый контакт	16	915
Трамбицкий А. О трансформаторах на рабочее напряжение 380 kV	12	648
Харченко Р. Р. Потеря напряжения в радиальных питательных сетях с точки зрения колебания напряжения у приемников	10	506
Холмский В. Г. К вопросу о железо-алюминиевых проводах	20	1167
Хрущев В. М. Новый метод расчета сверхтоков	13	693
Цукерман М. Л. Телеизмерения для электропередач и фотоимпульсная система	21	1207
Чернышев А. А., Глазанов В. Н. и Савицкий Г. А. Защита трансформаторных обмоток	1	1

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статей	№ журнала	Стр.
Чернышев А. А. Передача больших мощностей на большие расстояния	5	242
Чернышев А. А. Международная конференция по большим высоковольтным системам	21	1187
Чернышев А. А. Международная конференция по большим высоковольтным системам	23—24	1339
Шембель Б. К. Определение дефектных изоляторов в гирляндах работающих линий электропередач	1	25
Школьник Е. Метеорологическое обслуживание высоковольтных линий передач	16	911
Шницер Л. М. Немецкий и американский методы надписи коэфициента трансформации на щитке трансформатора	6	328
Шрамков Е. Г. и Зуев Н. Г. Магнитное насыщение ферромагнитных материалов при повышенных температурах	6	311
Шпильрейн Я. Н. Об измерении переходных сопротивлений	17	971
Щербаков В. Координация изоляций и защита от атмосферных перенапряжений высоковольтных сис	23—24	1328
Юдин Я. Упрощенный метод Гаусса при расчете сетей	10	509
Яворский В. В. Атмосферные перенапряжения на линиях электропередач с деревянными опорами	16	8 8
Яворский В. В. Вопросы экономичности при проектировании мощных трансформаторов	18	1006
мерительные трансформаторы и защитные устройства для сетей высокого напряжения с воздушными линиями	5	280

Электрические измерения

Горюнов П. Влияние асимметрии токов и напряжений на показания трехфазных индукционных счетчиков для равномерной нагрузки фаз	19	1083
Калинин Е. В. Клидонограф	1	
Майоров Ф. Аппарат для измерения емкостей непосредственным отсчетом	19	10
Стекольников И. С. Современные методы измерения перенапряжений в высоковольтных сетях	12	6
Стекольников И. С. и Чечик Ф. Л. Регистраторы прямых ударов молнии	19	10

Светотехника

Алексеев Ю. П. Приближенные способы расчета электрического освещения	7	3
Борщевский С. М. Новая лампа ультрафиолетовых излучений „Suulamp“	6	3
Гуревич М. И. Шар Ульбрихта и его применение	19	10
Кияница В. Н. Расчет прожекторного освещения точечным способом	10	5
Мешков В. В. и Озолинг И. Х. О нормировании осветительных установок открытых пространств	18	10
Тиходеев П. М. Рациональное уличное освещение крупных городов СССР	9	4
Федоров Е. В. Электрические кривые для расчета пустотных ламп с прямой нитью	14	8

Разное

Голубева И. А. Проект стандарта на пертинакс листовой	13	7
Проект стандартов электро-технических обозначений	22	12
Обозначения в области радиотехники	22	12
Достижения в электропромышленности САСШ за 1929 г.	4	2
Золотарев В. Мнемоническая схема к расчету нагрузок электрических станций	2	7
Сыромятников Н. П. Электрическая очистка генераторного газа	20	11
Смирнов М. А. К вопросу о размерах оборотных средств в незавершенном производстве в связи с построением производственного цикла	6	3

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

АННОТАЦИИ

МИЛЬШТЕЙН Н. М., **„Задачи энергостроительства Урало-Кузнецкого комбината".** „Эл-во" № 15—16 1932, стр. 766

В статье приводится перспективный план электрификации УКК, разработанный Главэнерго на конец второй пятилетки с одновременным освещением состояния энергостроительства в настоящее время.

Автор обращает внимание на некоторое отставание энергостроительства УКК от реконструкции остальных отраслей народного хозяйства, входящих в комбинат, останавливается на основных предпосылках, необходимых для возможности освоения намеченного плана работ.

ЛАПИРОВ-СКОБЛО М. Я., **„Проблемы технической реконструкции электропромышленности во второй пятилетке".** „Эл-во", № 15—16, 1932, стр. 769

МАЙЕР Р., **Устойчивость сетей и влияние на нее перевозбуждений.** „Эл-во" № 15—16, 1932, стр. 781

В статье приводится аналитический расчет параллельной работы большой силовой станции со слабо нагруженной, в предельном случае работающей в качестве синхронного компенсатора станцией меньшей мощности. При этом вводится ряд упрощающих допущений. Устойчивость сети при коротких замыканиях в районе обслуживания меньшей станции (синхронного компенсатора) может быть нарушена тем, что угол отставания ее по отношению к большей станции может увеличиться до встречного направления фаз и больше. Это отставание усиливает значительная нагрузка синхронного компенсатора во время аварии; его стремятся уменьшить синхронизирующие силы, действующие между станциями.

РАКУШЕВ Н. Ф., **О расчете токов короткого замыкания и выборе реакторов для их ограничения.** „Эл-во" № 15—16, 1932, стр. 790

В статье описывается одно из видоизменений способа процентных реактивностей для расчета токов короткого замыкания. Расчет иллюстрируется несколькими конкретными числовыми примерами.

СЛОНИМ А. Я. и ИНОСОВ В. Л., **Статические конденсаторы и проблема коэфициента мощности.** „Эл-во" № 15—16, 1932, стр. 798

Статья посвящена следующим конкретным вопросам применения статических конденсаторов: 1) определение экономического коэфициента мощности потребителя или группы потребителей, на основе которого решается вопрос о рациональном пределе компенсации $\cos\varphi$; 2) рациональное размещение статических конденсаторов в электрической сети и зависимость его от характеристик конденсаторов; 3) определение очередности и пределов компенсации отдельных приемников, иначе говоря вопрос выбора об'ектов компенсации; 4) регулирование и выбор мощности статических конденсаторов для компенсации $\cos\varphi$ отдельных приемников тока двигателей).

СОЛОВЬЕВ В. А., **Пульсация напряжения ртутных выпрямителей.** „Эл-во" № 12, 1932, стр. 629 [1])

В статье освещается проблема пульсации напряжения ртутных выпрямителей и описываются методы практического измерения этих пульсаций [1]).

[1]) Печатается взамен ошибочной аннотации, помещенной в № 12.

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Техред Г. Андреев

РЕДКОЛЛЕГИЯ: Е. С. Авятков, В. И. Вейц, В. Н. Глазанов, М. Н. Грановская, Я. А. Климовицкий, Г. М. Кржижановский, И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, Н. А. Савонов, М. А. Шателен, Я. Н. Шпильрейн

ОТВ. РЕДАКТОР Я. А. Климовицкий.

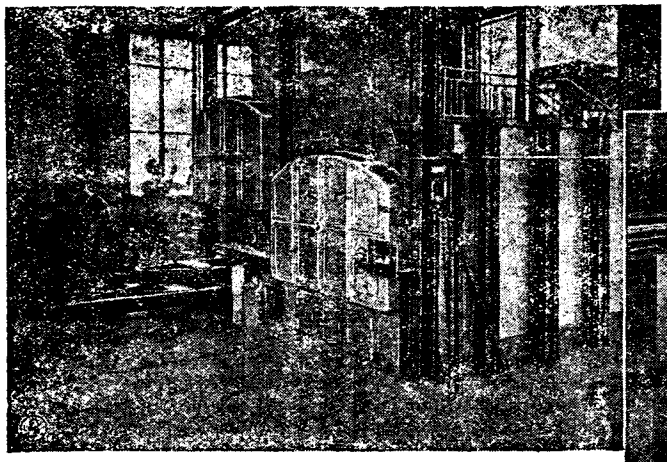
Сдано в набор 11/VII, подписано к печати 22/VIII 1932. Бумага 62×94. Печатных листов 7. Печатных знаков в листе 78 800

Уполн. Главл. Б—22556 Москва, 9-я типография Мособлполиграфа, Юшков пер., 10 Зак. 3642. Тираж 12.600

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

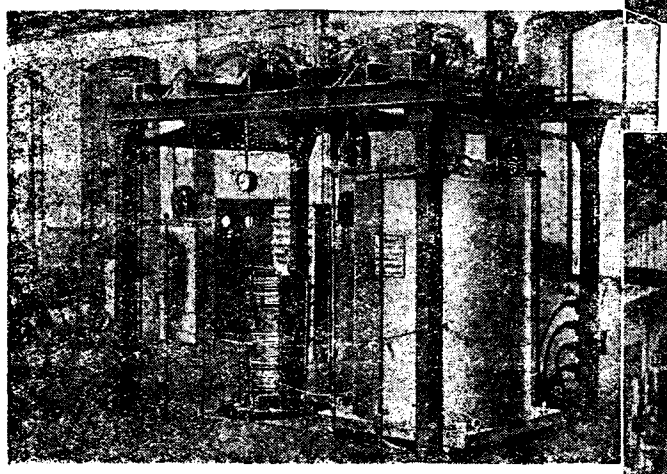
ЭЛЕКТРОПЕЧИ

улучшают качество изделий металлической промышленности и повышают сбыт



Двухкамерная электропечь 320 kW для подогрева латунных листов

Кольцевая электропечь 210 kW для отжига и термической обработки проволочных бунтов



Печь 70 kW для чистого отжига меди в виде колец при температуре ок. 500°

Печь с тележкой 100 kW для алюминиевых листов

Электропечи с сопротивлениями для металлической промышленности, устройства для сушки, установки для отопления, аккумулирующие тепло ночью во время дешевой энергии

СИМЕНС-ШУККЕРТ

6605

Печатный материал по первому требованию

Siemens-Schuckert-Werke A.-G.

Technisches Büro Ost **Berlin-Siemensstadt**

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Сплавы и металлы, плавленные при вакууме

*Хромо-никелевая проволока для нагре*вательных элементов для отапливаемых электрических и калильных печей для промышленности и предметов домашнего хозяйства, с содержанием хрома от 11—33%.

Тянутые без швов трубы из хромо-никеля, плавленного в вакууме, как-то защитные трубы для пирометров и для химической промышленности.

Сплавы высшей теплостойкости для машинных частей, которые должны выдерживать длительные рабочие температуры до 1000°.

Антикатоды из меди, подвергнутой плавке в вакууме, для рентгеновских трубок. Свободная от газа чистая никелевая проволока и лента для ламп накаливания, усилительных и передаточных трубок. Свободная от газа токоподводящая проволока для ламп накаливания из сплава железо-никеля.

Термоэлементы из плавленных при вакууме неблагородных металлов с постоянной кривой градуировкой, измерение температур от 800—1100°

Гереус-Вакуумшмельце
А.-О.
Ганау н. М. (Германия)

8232

ELCAMO
SCHUTZMARKE

Motor-Aggregate-bau-Gesellschaft
m. b. H.
Erfenschlag-Chemnitz (Германия)
Zweigwerk der Zschopauer
Motorenwerke J. S. Rasmussen A.-G.
Zschopau i. Sa.
DKW

Моторные аггрегаты
всякого рода;
приводной силой являются двигатели внутреннего сгорания
для бензина, бензола, керосина и нефти.

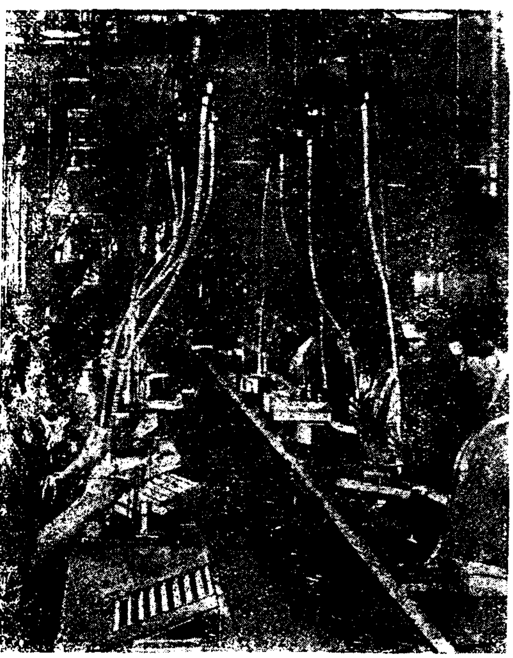
Мы кроме того поставляем в особенности:

Малые электрические станции
для всех видов тока и всех напряжений:
для токов низкого напряжения,
для токов нормального напряжения,
для токов высокого напряжения и
для токов высокой частоты

6655

Всюду, где приходится ввертывать шурупы одних и тех же размеров при серийной и поточной работе, с успехом применяются механические

ОТВЕРТКИ ФЛЕКС



ФЛЕКС

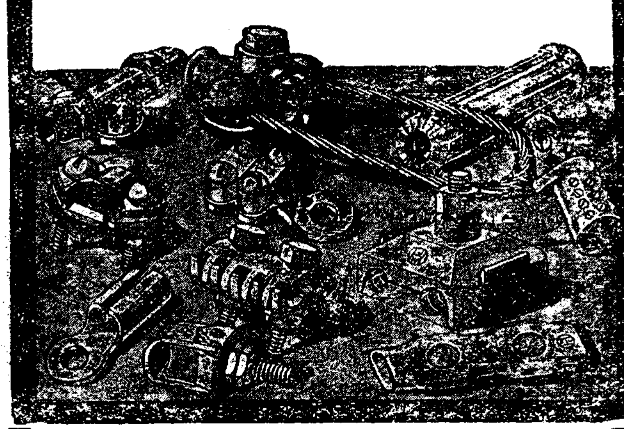
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОТВЕРТКА ФЛЕКС
на конвейере электротехнического завода

ACKERMANN & SCHMITT
SPEZIALMASCHINENFABRIK
Stuttgart 13, Postfach 28/35 (Германия)

FLEX

HOFMANN MATERIAL

J. WILHELM HOFMANN
FABRIK ELEKTR. APPARATE
KÖTZSCHENBRODA BEI/DRESDEN



Соединительный материал для электрических проводов
Требуйте мои каталоги

При запросах просим прилагать адрес для наклеиван. на конверт

При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ФАБРИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Фр. САУТЕР, Акц. Общ. в БАЗЕЛЕ
Fabrik elektrischer Apparate Fr. SAUTER, A.-G., BASEL

Автоматический часовой выключатель с электрическим заводом.

6678

Мы строим:

1. **Астрономические** электрические часовые выключатели для автоматического зажигания и тушения уличного освещения, для силы тока от 2 до 600 A и для напряжения от 100 до 8000 V.

2. **Автоматические** выключатели, действующие на расстоянии (релэ: ртутные, магнитные и моторные).

3. **Электрические** автоматы для счетчиков 2 и 3-го тарифа, холодильных машин, насосных установок, фабричной сигнализации, регулирования уличного освещения, зарядки аккумуляторов и т. п.

Наши изделия выставлены на постоянной выставке „Техкопрсимпорта".

Поставщики Электроимпорта.

Запросы могут быть составлены и на русском языке.

При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего жу
Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней тор

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО"

и ДРУГИЕ

научно-технические журналы

за предыдущие годы и 1932 год,

= начиная с первых номеров =

продаются в розничной продаже,

а также высылаются наложенным платежом

магазином № 59
(Москва, Петровка, 15)

и журнальной базой Могиза
(Мясницкая, 13)

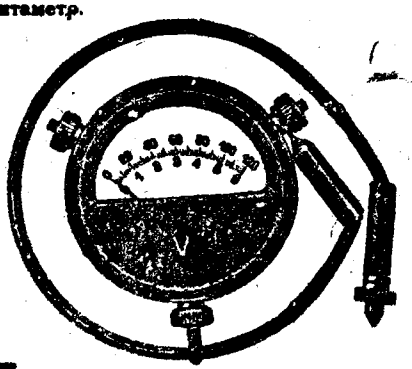
КНИГОТОРГОВОЕ ОБ'ЕДИНЕНИЕ ОГИЗА

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

НОВОСТИ!

Мы выпустили на рынок большое количество всевозможных новинок: Лабораторные измерительные приборы в изолированных коробках высокого качества, небольшие дешевые инструменты с вращающимся сердечником или вращающейся катушкой, прибор для проверки радио-ламп, дешевый прибор для радио-измерений, пантаметр.

Требуйте от нас бесплатной присылки новейших проспектов!



GOSSEN
ERLANGEN/BAY.
(Германия)

Fr. Ghielmetti & Cie. A.-G.
Solothurn (Швейцария)

Периодические и стопорные выключатели, выключатели с часовым механизмом, автоматическ. выключатели для уличных фонарей
6872

Просьба к читателям

желающим выписать каталоги или пр. информационный матерал иностран. фирм, заполнить помещенный внизу текст, вырезать его, вложить в конверт снабженный 15 коп. маркой и отправить фирме по адресу, указанному в об'явлении или статье журнала.

Фирме: .....

.....

В .....

Ссылаясь на В| об'явлений в технических журналах Союза ССР, прошу (сим) выслать мне (нам) по нижеследующему адресу каталог или информационный материал об изделиях В| производства в особенно в отношении

.....

.....

.....

.....

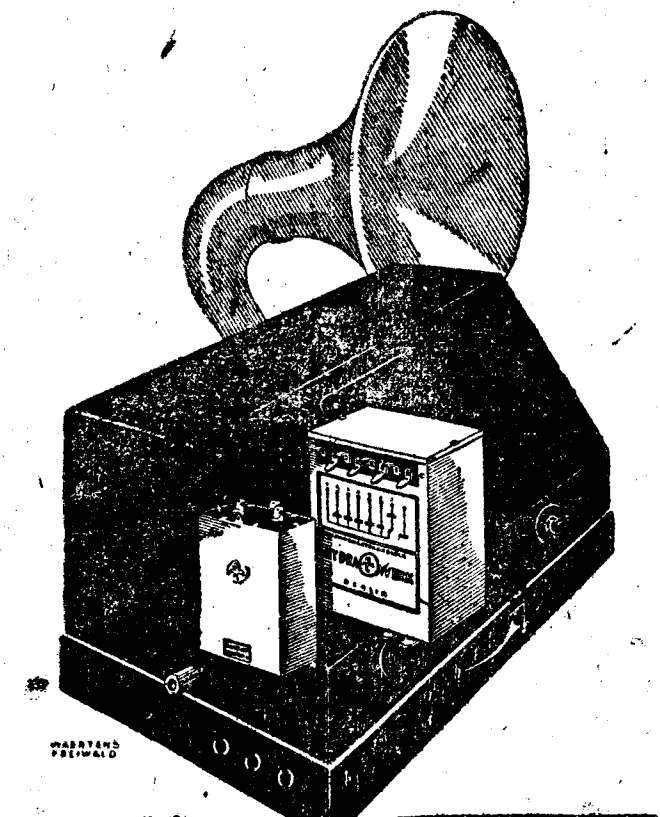
Фамилия или учреждение: .....
(Разборчиво)

Специальность: .....

Адрес: .....

.....

ГИДРА-КОНДЕНСАТОРЫ



HYDRAWERK BERLIN N20

При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталогов, ссылаясь в переписке просим ссылаться на № нашего журнала

www.booksite.ru

Цена 1 р. 75 к
НЗ 60

ВО ВСЕМ МИР

специалистами признано, ч

РЕЛЭ БУХГОЛЬЦ

являются надежнейши
устройством для защит

ТРАНСФОРМАТОРО

В настоящее время свыш

11 000 шт.

таких устройств защища
трансформаторы обще
мощностью

ок. 45 миллионов kVA

На основании нашего общего догово
все запросы и заказы для С.С.С.Р. след
направлять через
Отдел Силовых Установок и Элект
техники Торгового Представитель
С.С.С.Р. в Германии (Берлин) ил
ОБ'ЕДИНЕНИЮ ЭЛЕКТРОИМПОР
МОСКВА.

MAX BUCHHOLZ
G.M.B.H. KASSEL (ГЕРМАНИЯ
AMALIENSTRASSE

Fabrik elektrischer Apparate AG.
NEUENBURG (Швейцария)

Настоящие аппараты HIPP
(основ. в 1861 г.)

Электрические часовые установки

Повторительные часы — Главные часы — Контактные часы для сигнализации времени на фабриках, в школах и т. п.

Самопишущие аппараты

для промышленных предприятий

Дальноизмерительные установки для наблюдения за уровнем жидкостей

для воды, нефти, бензина

Контрольные аппараты для проверки ночных сторожей

для одиночного и центрального контроля

6673

При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталогов, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего [illegible]

27/УП 7 33-68
Электричество
Вологда
Центр. обл. библиот
26

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru