

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

# 13

1 9 3 7

ВОЛОГОДСКАЯ  
СОВЕТСКАЯ  
ЦЕНТРАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА  
Вологда, Возрождения, 9

ОБЪЕДИНЕН  
ТЕХНИЧЕСКОЕ



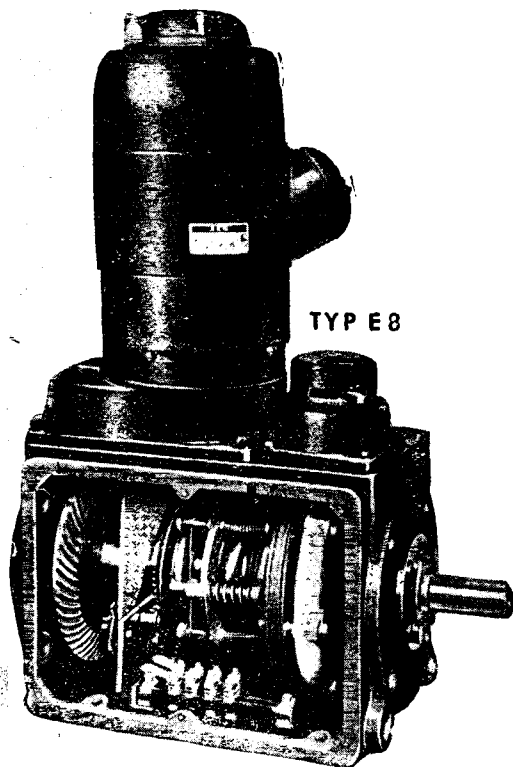
НОЕ НАУЧНО-  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

# AEG

## ЭЛЕКТРО-ПРИВОДЫ



со специальной муфтой для автоматического выключения привода при превышении установленного момента вращения

имеют широкое применение в области всякого рода регулирующих органов, как напр.:

шиберов, вентилях, регул. скорости, пусковых реостатов, подъемных и тормозных устройств, шлагбаумов, сигнальных установок и т. п.

### Allgemeine Elektrizitäts - Gesellschaft

Abt. Rußland — Berlin NW 40

6726

## SCHUNK & EBE GIESSEN (Германия)

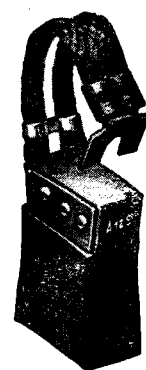
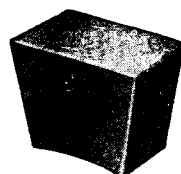
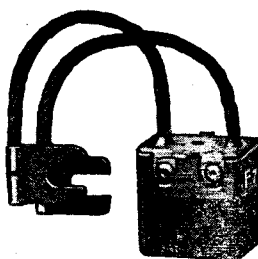
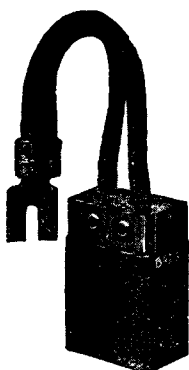
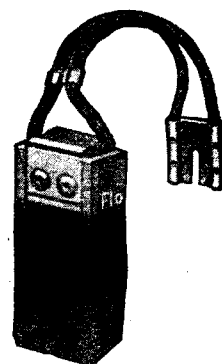
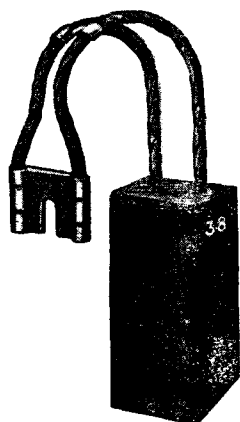
Фабрика угольных щеток и щеткодержателей

Мы являемся между прочим постоянным поставщиком всех сортов и качеств изображенных в настоящем объявлении угольных щеток для советских промышленных предприятий

Наша фабричная марка



гарантия высокого качества

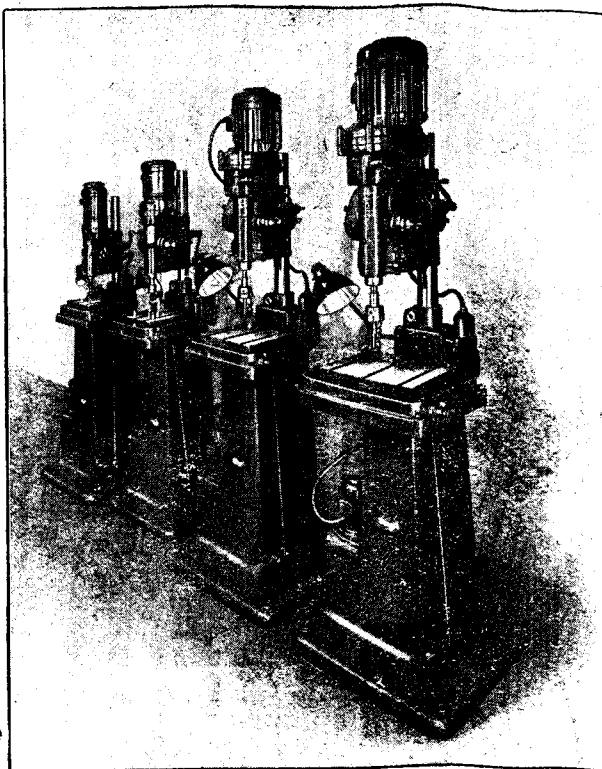


# УЛЬТРОМАТ

автоматический резьбо-нарезный станок с электрическим включением. 5 размеров.

Автоматизация рабочего процесса. / Надежное электрическое управление. / Точное ограничение глубины подачи. / Высокое число оборотов. / Полное использование производительности быстро режущих резцов. / Точная работа передачи. / Отсутствие муфт и дифференциальной передачи. / Простое обслуживание. / Очень высокая производительность.

Брошюра № 835 высылается по первому требованию.



**HANN & KOLB · STUTTGART**  
**ГАН И КОЛЬБ · ШТУТГАРТ**

2R487

## ПОЛНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ для КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ВОЛОГОБО  
СО  
ЦЕНТРАЛЬ  
Вологда, Возро

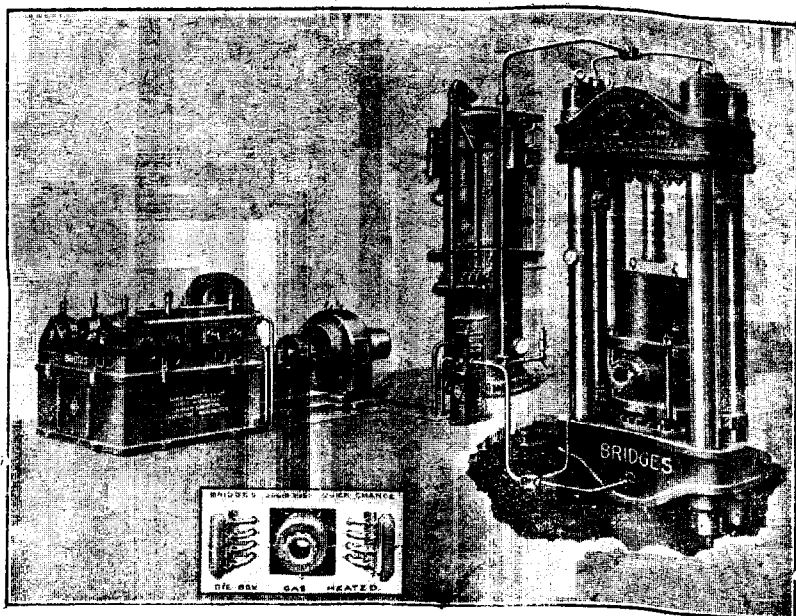
Благодаря непрерывным улучшениям в течение ряда лет, фирма БРИДЖ имеет теперь возможность предложить кабельным заводам машины для всех отраслей этого производства, непревзойденные по замыслу и конструкции.

### Усовершенствованный гидравлический пресс БРИДЖА для свинцовых кабелей

Мы специально сконструировали этот пресс со вспомогательными поршнями для обратного хода главного поршня. Само собой понятно, что такое устройство устраняет бесконечные неудобства при перемене кожаных прокладок, причем совершенно нет надобности менять нижнюю прокладку.

**DAVID BRIDGE & Co Ltd**  
ENGINEERS, IRON AND BRASS FOUNDERS  
**Castleton, Manchester.**

а также:  
Aldwych House, Aldwych,  
LONDON W.C.2 (Англия)





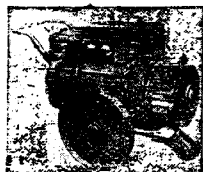
Deutsche Elektrizitäts-Werke  
zu Aachen

—Garbe, Lahmeyer & Co.—  
Aktiengesellschaft.

**Электрические машины**

**Трансформаторы**

**Распределитель-  
ные установки**



**50-летний  
производственный  
стаж**

2792

## ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ

Для передачи Ваших измерений на расстояние, для окончательного подсчета их и для автоматической передачи результатов показаний счетчиков, пользуйтесь аппаратами

### ATELIERS J. CARPENTIER

46, Rue Arago - PUTEAUX (ФРАНЦИЯ)

Предлагаются аппараты трех наших систем: ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ при помощи импульсов определенной частоты,

Многократное ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ с определенными интервалами между импульсами,

ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЕ с определенным числом импульсов.

Системы эти, основанные на всех современных видах передачи, просты, практичны и основательны.

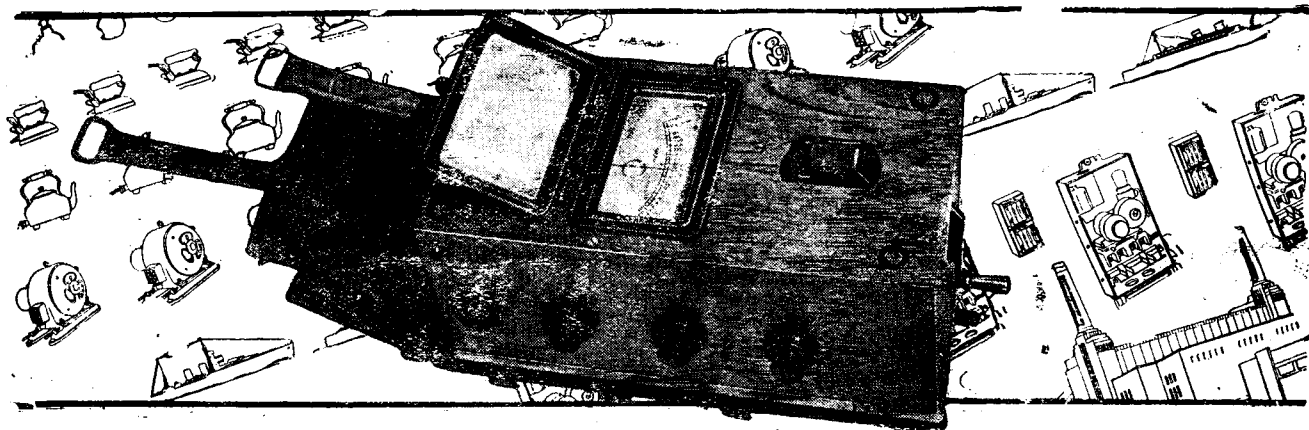
Запрашивайте ATELIERS J. CARPENTIER. Наша фирма даст Вам возможность использовать ее более чем пятидесятилетний опыт.

Измерительные и контрольные приборы для лабораторий, заводов и учебных заведений.

Пирометрия. Теплотехнический контроль. Передатчики приказов.

Телеграфные аппараты Бодо. Аппараты для морской и воздушной навигации.

## ИЗБЕГАЙТЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ



путем проверки вашей инсталляции прибором "MEGGER", служащим для испытания изоляции

За техническими справками обращайтесь непосредственно к фирме, производящей указанный прибор, по адресу :

## EVERSHED & VIGNOLES LTD

Acton Lane Work, Chiswick, LONDON, W.4. (Англия)

Вологодская областная универсальная научная библиотека

МАРКА "MEGGER" ОХРАНЕНА ЗАКОНОМ

www.booksite.ru

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

13

1937  
июль

ГОД ИЗДАНИЯ 58-й

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА, ГЛАВЭНЕРГО НКТП И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67. Энергетический ин-т, 1 этаж, комн. 144, телеф. В 5-32-79

Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Передовая</i> — Беспощадно уничтожим всех врагов народа . . . . .	1
<i>Брагин С. М.</i> — Успехи кабельной техники и ближайшие задачи кабельного производства . . . . .	2
<i>Савельев П. В.</i> — Автоматизация и защита кабельных городских сетей . . . . .	6
<i>Бугринов Е. А.</i> — Облегченные конструкции закрытых 100 kV распределительных устройств с безмасляной аппаратурой . . . . .	16
<i>Иванов Н. П. и Брицын М. Л.</i> — Мощные синхронные турбомоторы завода „Электросила“ им. С. М. Кирова . . . . .	20
<i>Сиротя И. М.</i> — О системе заземлений в электросетях низкого напряжения . . . . .	25
<i>Подольский Л. П.</i> — Заземление нейтрали электросетей 380/220 V. . . . .	34
<i>Кантер А. С.</i> — Электрические машины средней мощности с возбуждением постоянными магнитами . . . . .	36
<i>Земляной М. И.</i> — Экспериментальное определение реактанцев всех трех последовательностей синхронного генератора . . . . .	39
<i>Шильдинер Л. М.</i> — Улучшение коммутации однофазного серийного коллекторного двигателя нормальной частоты . . . . .	42
<i>Соловьев Л. Е.</i> — Основные соотношения при двойных замыканиях на землю в разных точках . . . . .	45
<i>На обложке</i> — Синхронный турбомотор типа СМ-2000-2 завода „Электросила“ им. С. М. Кирова	

## Беспощадно уничтожим всех врагов народа

РАССТРЕЛ восьмерки гнусных предателей и шпионов (Тухачевского, Якира, Уборевича и других), пойманных славным НКВД, нанес сильнейший удар иностранной буржуазной разведке.

Рабочие, колхозники, красноармейцы, инженеры, научные работники, все трудящиеся СССР, одоблив справедливый приговор Верховного Суда, обрушили на презренных бандитов волны гнева и возмущения.

Фашистские хозяева разоблаченных негодяев не могли скрыть своей жалкой растерянности. Разведка германского фашизма была повергнута в тяжелый траур, и господину Геббельсу пришлось заняться в экстренном порядке распространением старых бредовых инсинуаций о «боях на улицах Москвы».

Траур фашистской разведки по своим расстрелянным агентам — самое лучшее доказательство очередного скандальнейшего провала, который потерпели враги СССР.

Из крепкого большого советского дома, населенного радостной семьей народов СССР, выброшена зловонная предательская падаля.

С удовлетворением говорим мы: Собакам — собачья смерть!

Ничтожные и злобные пигмеи, раздавленные железной диктатурой победоносного рабочего класса СССР, посягали на мощь нашей любимой Красной Армии, на целостность нашей родины, на завоевания великой Октябрьской революции, на великопленные достижения социалистического народного хозяйства, вступающего в III пятилетку.

Они и на этот раз просчитались.

Как никогда, выросла зоркость диктатуры рабочего класса. Метко разит оружие НКВД, направляемое твердой рукой верного сталинца, товарища Н. И. Ежова.

Вслед за троцкистской бандой японо-немецких наемников, вслед за Пятаковым и его приспешниками, уничтожена шпионская фашистская банда, подготовлявшая поражение Красной Армии.

Один конец — расстрел.

Этот конец ждет всех шпионов, вредителей и диверсантов, как бы они тонко ни маскировались.

У нашего НКВД миллионы добровольцев в народных массах.

Эти добровольцы — в пограничных районах Союза, в колхозах, в цехах заводов и фабрик, на железных дорогах, в шахтах, на электростанциях, на линиях электропередач, у турбин, у котлов,

в лабораториях и институтах. Никуда не уйти подло маскирующимся и кое-где притаившимся еще врагам от зорких глаз миллионов советских патриотов, от советской разведки, от ее острого карающего меча.

Выражая чувства трудящихся нашей великой страны, газета «Правда» в передовой от 12 июня с. г., посвященной приговору Верховного Суда, пишет:

«Неизмерима сила советского народа. Непоко-

лебима его воля к победе. Безгранична его любовь к партии **Ленина—Сталина**, к советскому правительству и Сталинскому Центральному Комитету. Никаким фашистским шакалам и шпионам не приостановить нашего победного шествия к коммунизму. Великая пролетарская революция победила под знаменем партии **Ленина—Сталина** окончательно и бесповоротно на одной шестой части земного шара. Под этим знаменем она победит во всем мире».

## К ОБСУЖДЕНИЮ ПРОБЛЕМ III ПЯТИЛЕТКИ

### Успехи кабельной техники и ближайшие задачи кабельного производства

PROGRESS IN CABLE TECHNIQUE AND FUNDAMENTAL CABLE PRODUCTION PROBLEMS

С. М. Брагин

Главцветметобработка

**КАБЕЛЬНАЯ** техника послевоенного периода развивается особенно интенсивно в направлении повышения рабочего напряжения силовых кабелей и надежности их работы в эксплуатации. Основной задачей является замена воздушных линий передач — подземными кабельными. Эта тенденция объясняется следующими соображениями.

При современном развитии военной авиации воздушные линии электропередачи легко могут быть разрушены и они же являются ориентирами для самолетов противника. Нельзя забывать того обстоятельства, что на обоих концах линии передачи находятся важные объекты — с одной стороны мощная электроцентраль, а с другой — завод, промышленный комбинат или понижающая подстанция.

Эксплуатация высоковольтных воздушных линий стоит значительно дороже, чем подземной кабельной. В самом деле, какое количество аварий бывает в летнее время в воздушных сетях из-за грозových перенапряжений и сколько средств расходуется на исследование перенапряжений, разработку методов защиты воздушных линий и осуществление самой защиты от перенапряжений, часто весьма мало помогающей на практике!

Подземная кабельная линия значительно надежнее воздушной. Почти абсолютная бесперебойность электроснабжения при применении современных конструкций высоковольтных кабелей снижает стоимость их эксплуатации.

Единственное основное преимущество воздушной линии перед подземной высоковольтной кабельной — это более низкая стоимость сооружения ее. Однако несомненно, что введение более рациональных конструкций и улучшение процессов обработки кабеля наряду с механизацией ме-

тодов его прокладки позволят значительно снизить первоначальную стоимость подземной линии.

Имеется еще одно обстоятельство. При переходе от воздушных линий к подземным особенно в пределах населенных пунктов нередко имеет место экономия в длине линии передачи за счет возможного спрямления трассы линии.

Мы полагаем, что в ближайшем будущем затраты на сооружение высоковольтной кабельной линии не будут сильно отличаться от затрат на устройство воздушных линий передач на те же напряжения.

Растущее потребление силовых, сигнальных и телефонных кабелей, обусловленное интенсивной электрификацией, распространением сигнализационных устройств и развитием связи, поставило вопрос о замене наиболее дефицитных материалов кабельного производства более доступными преимущественно синтетического происхождения.

В центре внимания была замена натурального каучука, применяемого для изоляции гибких проводов и кабелей, и замена свинца свинцовых оболочек кабелей связи. У нас в Союзе именно дефицитность свинца, прежде всего, лимитирует выпуск всех оцинкованных кабелей, а натуральный каучук мы полностью импортируем, поэтому замена этих материалов является для нас до сих пор задачей первостепенного значения.

Вот те основные направления, по которым идет развитие техники высоковольтных кабелей.

Однако, кроме высоковольтных кабелей для электрификации любого объекта, нужны еще установочные провода и шнуры для непосредственного включения приемников электрической энергии у потребителей, а также контрольные кабели на электрических станциях и подстанциях.

Этот вид кабельной продукции крайне разно-

образен по количеству марок и имеет широкое распространение как в промышленности, так и в быту. Естественно, что между этими двумя видами кабельной продукции должно быть выдержано какое-то определенное соотношение, которое и должно определять масштабы развития кабельных заводов, изготавливающих высоковольтные кабели, с одной стороны, и установочные провода и шнуры, т. е. изделия с резиновой изоляцией по преимуществу, с другой стороны. Иначе может получиться такое положение, что при наличии высоковольтных кабелей может не хватать установочных проводов и шнуров или же, наоборот, шнуров и проводов достаточно, но кабеля для присоединения объектов потребления может не оказаться в нужном количестве.

2. Как уже было сказано ранее, кабельная техника в послевоенный период сделала большие успехи в области высоковольтных подземных кабелей.

За последнее десятилетие разработан так называемый маслонаполненный кабель и полностью освоены его изготовление, монтаж и эксплуатация, обеспечивающие бесперебойную передачу энергии при напряжении до 220 кВ включительно. В настоящее время во всем мире насчитывается уже свыше 1600 км маслонаполненного кабеля на напряжение от 15 до 220 кВ, из которых свыше 500 км кабеля на рабочее напряжение 132 кВ и 56 км на напряжение 220 кВ. Надежность работы этого кабеля характеризуется тем, что за все истекшее десятилетие не было ни одного случая пробоя кабеля, который бы указывал на его недостаточную электрическую прочность.

В чем же заключается «секрет» такого успеха кабельной техники? Ведь еще сравнительно недавно «предельным» напряжением для подземных кабелей считалось 35 кВ; так например, Союз германских электротехников, исходя именно из этого положения напряжения, ввел в 1919 г. 35-кВ шкалу нормальных напряжений. В настоящее же время уже больше года бесперебойно работает под напряжением 220 кВ парижская кабельная линия, привлекая внимание электротехников всего мира.

Секрет успеха заключается в правильном определении причин пробоя кабеля в эксплуатации и в принятии необходимых мер к предотвращению их путем соответствующего изменения конструкции кабеля при одновременном усовершенствовании производственного процесса.

При нагревании и охлаждении кабеля в эксплуатации при изменении тока, проходящего по жилам кабеля, происходит тепловое расширение изолирующего состава, пропитывающего бумажный слой кабеля. Применяемый в кабелях сильного тока пропитывающий состав, представляющий собою минеральное масло с примесью канифоли в количестве от 15 до 35%, имеет температурный коэффициент объемного расширения около 0,08‰; при нагреве изолирующего слоя в среднем на 50° объем пропитывающего состава в кабеле увеличится на 4%. Если кабель пропитан хорошо и в нем нет никаких пустот, которые смогли бы компенсировать такое расширение изолирующего состава, то в результате возника-

щего при этом значительного повышения давления в изолирующем слое свинцовая оболочка должна будет «раздаться». При несовершенной пропитке его происходит заполнение имеющихся в кабеле «пустот». В обоих случаях будет наблюдаться перемещение легко подвижного при повышенной температуре изолирующего состава в направлении от жилы к свинцовой оболочке с вытеснением некоторой части состава внутрь токопроводящей жилы, в пространство между отдельными проволоками, из которых она составлена. При последующем охлаждении кабеля вязкость состава резко возрастет, следовательно, понизится способность состава к перемещению в порах бумаги и в узких каналах между отдельными бумажными ленточками, из которых состоит изолирующий слой.

Так как прежде всего охлаждаются изолирующие слои, примыкающие к свинцовой оболочке, не находящийся в этих слоях изолирующий состав уже не сможет из-за повысившейся вязкости вернуться во внутренние слои, и в результате неминуемо образование пустот в наиболее электрически напряженных местах изолирующего слоя, находящихся у жилы кабеля. Как только появятся пустоты, сейчас же начнется процесс ионизации заключенного в них газа с разрушением прилегающего слоя изоляции. Дни работы кабеля под напряжением уже сочтены, и пробой его — дело времени. Так, в общих чертах, можно представить себе схему явлений в обычном кабеле с вязкой маслоканифольной пропиткой.

С чисто электрической точки зрения большую роль в надежности работы кабеля играет качество применяемых для изготовления изолирующего слоя материалов, т. е. бумаги и пропитывающего компаунда. Бумага, наложенная отдельными слоями на медную жилу, оказывает «барьерное» действие на проходящий через изолирующий слой ток утечки, затрудняя тем самым возможность пробоя кабеля и повышая его электрическую прочность.

Кабельная бумага должна удовлетворять особым техническим условиям, так как, помимо механической прочности, она должна обладать достаточной плотностью, увеличивающей степень «барьерного» действия бумаги, и способностью к хорошей пропитке маслоканифольным составом.

3. Маслонаполненный кабель появился впервые в установках промышленного типа около 10 лет назад. В 1925—1926 гг. американская фирма GEC, совместно с итальянской фирмой Pirelli, изготовила и проложила в Чикаго и Нью-Йорке две подземные кабельные линии длиной в общей сложности около 30 км, предназначенные для работы при напряжении 132 кВ. Обе эти линии были дублированы в 1929 г. и работают бесперебойно по сие время.

На этих линиях и был практически применен впервые новый тип маслонаполненного кабеля, изображенный на рис. 1. Трехфазная линия состояла из трех таких кабелей.

Главной отличительной особенностью этого кабеля является наличие канала в центре токопроводящей жилы, по которому подводится пропитывающее бумажный слой легкоподвижное минеральное масло. Присоединенные в определен-



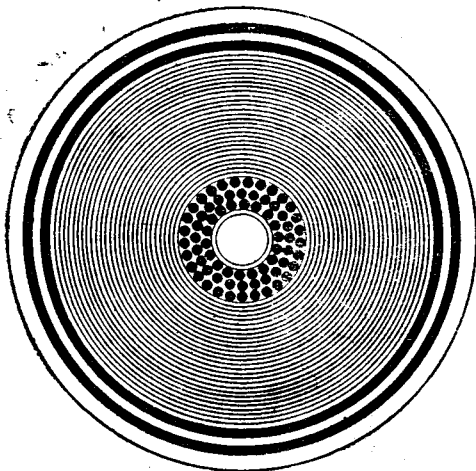


Рис. 1

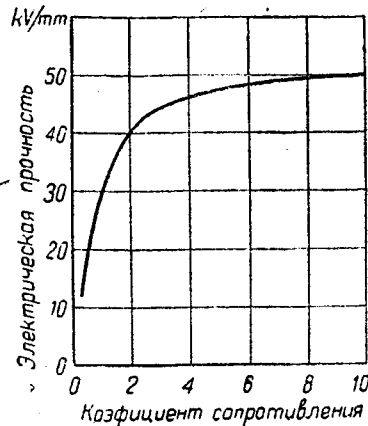


Рис. 2

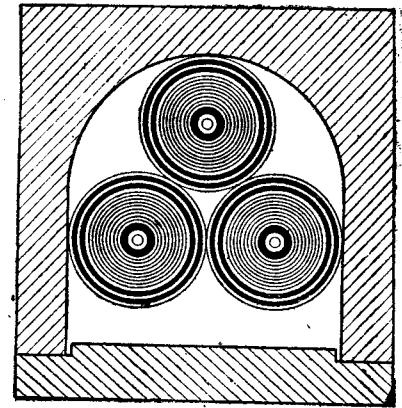


Рис. 3

ных точках к кабельной линии подпитывающие устройства поддерживают при всех изменениях нагрузки небольшое избыточное давление в кабеле, что препятствует образованию пустот в изолирующем слое даже при резком изменении нагрузки кабеля.

Для большей гарантии отсутствия воздушных включений применяемое для пропитки минеральное масло подвергается тщательной очистке, вакуумной сушке и в особом аппарате, дегазаторе, освобождается от растворенного в нем воздуха.

Изолирующий слой кабеля состоит из большого числа лент кабельной бумаги, обладающей малой воздухопроницаемостью и вследствие этого повышенной электрической прочностью, как показывает рис. 2.

Сечение медной жилы этого кабеля —  $300 \text{ мм}^2$ , а толщина бумажного изолирующего слоя —  $18,2 \text{ мм}$  при числе слоев свыше 150. Толщина изолирующего слоя для рабочего напряжения  $132 \text{ кВ}$  была меньше, чем проложенного в то же время в Америке трехфазного кабеля на рабочее напряжение  $66 \text{ кВ}$  распространенной конструкции.

Непрерывное совершенствование конструкции маслонаполненного кабеля и его арматуры, а также и улучшение производственных процессов при изготовлении кабеля настолько повысило его электрическую прочность, что сделало возможным изготовить такой кабель на напряжение  $220 \text{ кВ}$ . Первая в мире подземная кабельная линия на это напряжение длиной около  $19 \text{ км}$  проложена в окрестностях Парижа. В изготовлении кабеля участвовали четыре французских кабельных завода. Изготовление производилось по лицензии и под наблюдением фирмы Societa Italiana Pirelli. С 23 марта 1936 г. эта линия находится в непрерывной эксплуатации.

На рис. 3 показан способ укладки трех таких одножильных кабелей в бетонный блок. Толщина изолирующего слоя кабеля  $24 \text{ мм}$ . Этот слой составлен из 200 слоев специальной кабельной бумаги разных толщин —  $0,08$ ;  $0,10$  и  $0,12 \text{ мм}$ .

Кабель должен работать при максимальном градиенте напряжения  $9,1 \text{ кВ/мм}$ , поэтому на качество бумаги и ее пропитку было обращено сугубое внимание. Примененная бумага удовлетворяла следующим требованиям:

Разрывное усилие в продольном направлении  $500 \text{ кг/см}^2$

Относительное удлинение в продольном направлении  $2,5\%$

Разрывное усилие в поперечном направлении  $245 \text{ кг/см}^2$

Относительное удлинение в поперечном направлении  $4,5\%$

Для пропитки было применено минеральное масло русского происхождения. При удельном весе  $0,895$  вязкость этого масла была равна  $225$  сантипуаз при  $10^\circ \text{C}$  и  $9$  сантипуаз при  $50^\circ \text{C}$ . При измерении вязкости вискозиметром Энглера допустимые отклонения составляли  $\pm 20\%$ .

Кабель имеет две свинцовые оболочки: первая — толщиной  $3,2 \text{ мм}$ , вторая —  $2,5 \text{ мм}$ . Наружный диаметр готового кабеля равен  $97 \text{ мм}$ , вес —  $27,3 \text{ кг/м}$ , номинальный ток при напряжении  $220 \text{ кВ}$  —  $420 \text{ А}$ . Потери при номинальных напряжениях и токе распределяются так:

В меди —  $10 \text{ кВт/км}$

В диэлектрике —  $3,4 \text{ кВт/км}$

В свинце —  $5 \text{ кВт/км}$ .

Зарядный ток при нормальных условиях составляет  $8 \text{ А/км}$ , что соответствует электроемкости кабеля  $0,200 \text{ мкФ/км}$ .

Интересно отметить, что этот кабель при использовании для постоянного тока сможет работать при напряжении около  $500 \text{ кВ}$ , тогда для линии длиной  $300 \text{ км}$  энергия, запасенная в электрическом поле кабеля, будет равна:

$$\frac{CV^2}{2} = \frac{0,200 \cdot 300 \cdot 10^6 \cdot 0,25}{2} = 7,5 \cdot 10^6$$

т. е. при его разряде освобождается такое же количество энергии, что и при взрыве  $1 \text{ кг}$  нитроглицерина.

4. Успехи современной кабельной техники базируются не только на применении специальных конструкций силовых кабелей и материалов повышенного качества, как, например, специальной кабельной бумаги и минерального масла, но и на коренном улучшении методов производства.

Основное в производстве силового кабеля, от чего зависит его надежность, — это процессы сушки и пропитки его. Они обеспечивают значительное снижение электрических потерь и почти



полное отсутствие ионизации в изолирующем слое. Сушка кабеля производится при вакууме, достигающем до 1—2 mm рт. ст.

Употребляемое для пропитки минеральное масло подвергается специальным очисткам и рафинировке, в результате чего получается однородный продукт, химически стабильный и не меняющий свои электрические свойства в течение длительного периода хранения.

Однако применяемая для изготовления пропитывающего компаунда канифоль по характеру ее получения и химической природе подвержена значительным колебаниям качества, что ведет к нежелательным изменениям электрических характеристик приготовленного из нее пропитывающего состава.

Стойкость свойств компаунда может быть обеспечена только при применении высококачественной канифоли, не подвергающейся окислению при температурах приготовления компаунда и процесса пропитки кабеля.

В настоящее время в Англии для получения пропитывающего масло-канифольного компаунда с улучшенными характеристиками применяется метод растворения для удаления загрязнений и нежелательных компонент. Изготовленный компаунд растворяется в специально подобранном растворителе. Этот растворитель растворяет только натуральную канифоль, чем обеспечивает отделение посторонних веществ и компонент, имеющих худшие электрические свойства по изготовлению очистки. Получающаяся смесь масла, канифоли и растворителя подвергается фильтрации или контактной очистке землями до окончательного удаления растворителя вакуумной перегонкой. Этот процесс позволяет весьма экономично решить вопрос изготовления высоковязкого масло-канифольного компаунда с высокими электрическими характеристиками, мало отличающимися от таковых для чистого минерального масла.

Такая обработка компаунда ведет к значительному уменьшению диэлектрических потерь в кабеле.

Если в 1927 г. Höchstädter и Bowden допускали для специальных условий максимальное значение  $\operatorname{tg} \delta$  около 0,015 при увеличении его за счет ионизации на 25% в пределах от половины до двойного рабочего напряжения кабеля ( $\Delta \operatorname{tg} \delta = 0,003$ ), то в 1933 г. Dunshealth показал возможность добиться  $\operatorname{tg} \delta = 0,004$  при  $\Delta \operatorname{tg} \delta = 0,0005$ , и этот результат еще не был лучшим.

Специальное чистое минеральное изолирующее масло такой вязкости, чтобы его можно было применить без добавления канифоли, может иметь настолько низкий  $\operatorname{tg} \delta$ , что при принятии мер к предупреждению окисления в процессе производства и использовании для изолирующего слоя кабеля бумаги с малыми потерями можно сделать кабель, имеющий  $\operatorname{tg} \delta = 0,001$ . Однако испытания показывают, что такое значение  $\operatorname{tg} \delta$  не особенно необходимо, так как уже при  $\operatorname{tg} \delta = 0,003$  диэлектрические потери делаются весьма малыми и не оказывают существенного влияния на работу кабеля. Кабель с ультрамалыми потерями может иметь применение лишь для специальных целей.

Какое значение имеет правильный выбор масла

для пропитки высоковольтных маслонаполненных кабелей, показывает случай из практики эксплуатации одной из лондонских кабельных линий, на которой было замечено образование водорода. Оказалось, что некоторые масла даже при высокой степени очистки и хороших электрических свойствах обладают способностью генерировать водород под влиянием электрического поля в присутствии такого малого количества воздуха, которое может случайно попасть в кабельную муфту.

Кроме сушки и пропитки, весьма важное значение имеет процесс наложения на кабель свинцовой оболочки. Малейшая неплотность или наличие включений и окислов свинца приводит к появлению утечки масла и к затягиванию влаги из окружающей среды при изменении нагрузки кабелей с вязкой пропиткой. Кроме того, при этом процессе возможно добиваются меньшей потери свинца из-за окисления, что при значительном расходе его на изготовление кабелей дает существенную экономию. Так например, годовой расход свинца всеми кабельными заводами Великобритании составлял в последние годы 64 000 t; в Америке в годы «prosperity» расход достигал примерно 250 000 t.

С этой точки зрения необходимо при применении свинца высокой степени рафинировки не допускать его окисления в процессе расплавления и опрессовки. Для этого американская фирма GEC осуществила заливку свинца в реципиент свинцового пресса под вакуумом для предупреждения образования окислов свинца.

Почти одновременно была применена заливка свинца в атмосфере водорода и, наконец, в последнее время найдено, повидимому, наиболее целесообразное решение этого вопроса в применении углекислого газа с некоторой примесью окиси углерода как для расплавления свинца, так и для заливки его в реципиент пресса. В результате получается однородная свинцовая оболочка без малейших следов окисных пленок в месте стыка двух потоков свинца при выходе из матрицы и на остановках для заливки новой порции свинца.

Обычно употребляемые для освинцевания большие гидравлические пресса, требующие частых остановок для заливки новых порций свинца в реципиент в связи с усовершенствованием так называемого «непрерывного» свинцового пресса, конструкция которого разработана английской фирмой Henley и итальянской фирмой Pirelli, в скором времени, вероятно, будут вытеснены из употребления этими последними, как наиболее экономичными и удобными в работе и притом дающими свинцовую оболочку лучшего качества.

5. Наша отечественная кабельная промышленность располагает всеми данными для освоения современных высот кабельной техники.

Мы сумели освоить самостоятельно, без какой-либо помощи «извне», изготовление маслонаполненного кабеля на напряжение 120 kV, из год в год совершенствуем качество выпускаемых силовых кабелей с вязкой пропиткой. Однако технический консерватизм все еще мешает нам вернуть так нашу работу, чтобы наилучшим образом использовать имеющиеся у нас возможности

и дать стране надежный высококачественный силовой кабель до напряжений порядка 200 kV.

Правда, мешает нам отсутствие высококачественных материалов, применяемых для изготовления высоковольтных кабелей. Так например, до сих пор еще не налажено производство высоковольтной кабельной бумаги, наиболее подходящих для кабельного дела изоляционных минеральных масел и специальных сортов кабельной канифоли.

В результате дружной совместной работы кабельщиков с бумажниками, нефтяниками и химиками, несомненно, в ближайшее же время мы будем иметь все необходимое. Тем более оснований для того, чтобы теперь обратить особое внимание на усовершенствование процесса производства высоковольтных кабелей.

Главное внимание надо уделить процессам сушки и пропитки и, в особенности, получению однородного высококачественного масло-канифольного состава или изоляционного вязкого минерального масла и устранению окисления пропитывающего компаунда в процессе производства. По-видимому, наиболее рационально пойти по пути очистки компаунда по описанному нами английскому способу, т. е. применением соответствующего растворителя.

Не вполне благополучно и с получением высококачественной свинцовой оболочки. Необходимо ввести электрический нагрев плавильных печей прессов и самый процесс расплавления проводить с применением предохраняющих от окисления флюсов или в атмосфере углекислого газа. Заливку свинца в реципиент пресса обязательно нужно делать или под вакуумом или в атмосфере углекислоты с примесью СО для восстановления случайно образующихся окислов свинца.

Нужно наладить регулярный контроль структуры свинцовых оболочек путем изготовления макрошлифов.

Размер статьи не позволяет останавливаться на мелких примерах технического консерватизма в кабельной промышленности и поэтому мы ограничились лишь основными проблемами, разрешение которых обеспечивает совершенствование кабельной техники и будет служить показателем культурного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Paris Ring Bus Employs First 220-kV Cable. *Electrical World* № 11, 1937.
2. Modern High-Voltage Cables by R. E. C. Horley. *Journal of the Inst. El. Eng.* № 481, 1937.
3. Continuous Extrusion of Lead Cable-Sheath by P. Dunsheath. *Journ. of the Inst. El. Eng.* № 484, 1937.

## Автоматизация и защита кабельных городских сетей

### AUTOMATIC CONTROL AND PROTECTION FOR OPENED CUSTOMER'S CABLE NETWORKS

П. В. Савельев

Оргэнергострой НКЛП

Для развития городских электрических сетей СССР в третьей пятилетке имеет большое значение задача довести сети радиальной конфигурации до такого совершенства, чтобы они в отношении основных эксплуатационных качеств: бесперебойности электроснабжения потребителей, надежности, простоты и стоимости эксплуатации не уступали сетям более сложной и дорогой конфигурации.

Достижение подобных результатов наиболее доступным способом даст возможность не только оборудовать сети новых городов и существующих крупных центров, но, что особенно важно, осуществить необходимую реконструкцию давно эксплуатируемых крупных сетей, ибо, как известно, сети всех городов Союза имеют в настоящее время радиальную конфигурацию.

Этих результатов можно достичь применением в обычной радиальной сети трех согласованных между собой мероприятий: использования и частичной реконструкции ее конфигурации, рационального сочетания между собой отдельных элементов всей сети и ее распределительных устройств, простейшей автоматизации основных процессов переключения при авариях и внедрения новых усовершенствованных релейных защит и блокировочных цепей.

Все описываемые ниже предложенные и проработанные автором и соавтором т. В. Д. Кузнецовым способы реконструкции коммунальных сетей (для Москвы) фидерной и распределительной высокого напряжения и магистральной низкого напряжения базируются только на применении перечисленных мероприятий и коренным образом отличаются от тех способов, которые применяются в зарубежной технике для достижения аналогичных результатов.

В самом деле известно, что наиболее эффективным способом достижения бесперебойности электроснабжения коммунальных потребителей является сетка низкого напряжения, получающая довольно широкое распространение, главным образом, в Америке, а также значительно менее распространенная, там же, «сетка среднего напряжения».

Довольно широкое распространение имеет (также, главным образом, в Америке) автоматизированное переключение питающих фидеров и секционных масляных выключателей, однако применяется это мероприятие, главным образом, для небольших необслуживаемых подстанций, а не в элементах коммунальных городских сетей. При этом необходимо отметить, что внедрение в жизнь схем, используемых за границей, встречает в наших условиях затруднения ввиду отсутствия в номенклатуре союзных заводов необходимой аппаратуры (главным образом, реле и сетевых автоматов); описываемые ниже оригинальные схемы, наоборот, базируются на простейшей аппаратуре, полностью освоенной союзной промышленностью.

Особенностью предлагаемых схем является также и умеренное сужение функций автоматизации, заключающееся в том, что во всех случаях автоматизируется только переход из нормального состояния схемы в аварийное; обратный переход производится уже вручную, дежурным персоналом после устранения соответствующего повреждения на месте; в зарубежных схемах и этот последний процесс также полностью автоматизируется.

Подобная установка принята не только в целях упрощения и удешевления предлагаемых схем, но также и потому, что в противном случае в большинстве случаев всякое авто-

матическое переключение на аварийный режим имеет своей первопричиной изменение нормального состояния какого-либо сетевого элемента (в том числе и обычная перегрузка). Это изменение, даже если оно не вызвано повреждением элемента, требует выезда на место дежурного персонала для осмотра и контроля и последующего обратного перевода схемы из аварийного состояния в нормальное. Так как элементы схем, которые после перехода на аварийный режим осуществляют питание пострадавшего элемента, всегда должны рассчитываться на возможность этого режима, то нет никаких оснований форсировать ускорение обратного перехода на нормальный режим путем его автоматизации.

Обязательной предпосылкой возможности и удобства применения подобной упрощенной автоматизации является, конечно, сигнализация перехода схемы на аварийный режим; однако такая же сигнализация, очевидно, необходима также и при автоматическом переходе из аварийного состояния в нормальное, так как иначе нельзя было бы определить местонахождение поврежденного элемента и приступить к его ремонту.

Другой предпосылкой рациональности автоматизации процессов переключения в простейшем ее виде является исключение возможности наложения аварии на аварию, т. е. возникновения повреждения в том сетевом элементе, который принял на себя нагрузку или заменил аварийно отключившийся элемент.

Уже из самого принципа автоматизации процессов переключения питания можно заключить, что, несмотря на коренную реконструкцию обычной кабельной сети, конфигурация ее в основном не меняется и остается для всех звеньев сети радиальной.

Это решение, предопределяющее применение автоматизации как основной меры модернизации, принято после всестороннего анализа и проработки нескольких вариантов с сетями кольцевой конфигурации с двухсторонним питанием.

Все проведенные расчеты и проработанные схемы показали, что отказ от радиальной конфигурации связан, с одной стороны, с увеличением потребной меди для кабелей, а с другой, — вызывает всегда удорожание и усложнение релейной защиты, надежное выполнение которой иногда становится даже невозможным. Кроме того, применение сети с двухсторонним питанием (особенно на напряжениях 6 и 10 кВ) приводит либо к заметному возрастанию токов к. з. и утяжелению параметров применяемой высоковольтной аппаратуры, что для коммунальных кабельных сетей по понятным причинам весьма нежелательно либо требует повышения реактивности реакторов на фидерных кабелях.

В первую очередь это относится к 10-кВ сетям; для которых отказ от радиальной конфигурации исключил бы в большинстве случаев возможность применения масляников ВМ-14 (намечаемых к установке в распределительной сети) и повысил бы минимально допустимое по токам к. з. сечение высоковольтного кабеля для связей в фидерной сети, которое даже для крупных сетей не превышает обычно 25—35 мм<sup>2</sup>. Кроме того, предлагаемая модернизированная фидерная сеть высокого напряжения радиальной конфигурации дает гораздо лучшее решение в отношении неограниченного, непредвиденного ее расширения в любом месте и имеет определенные экономические преимущества в условиях постоянного развития сетей во вновь осваиваемых районах города.

Небезынтересно отметить, что заграничная практика в огромном большинстве случаев (за исключением замкнутых сетей низкого и среднего напряжений) также базируется на радиальных конфигурациях коммунальных сетей, с различного рода связями между элементами этих сетей при одновременной автоматизации отдельных сетевых элементов, причем наиболее совершенные схемы оборудуются телеустановками.

Только для фидерных сетей, питающих крупные промышленные нагрузки, в Америке найдено применение петлевой схемы с двухсторонним питанием, причем высоковольтное оборудование, применяемое для этой схемы, получается, конечно, достаточно дорогим и тяжелым, а релейная защита требует специальных устройств с контрольными кабелями.

Разница в отношении качества энергии, подаваемой потребителям, питаемым по радиальным автоматизированным схемам и по схемам с двухсторонним питанием, заключается в том, что в первом случае, как бы ни была совершенна схема и применяемое оборудование, все же

всегда при аварии с каким-либо элементом установки неизбежен некоторый промежуток времени, в течение которого шины лишаются напряжения; этот промежуток времени колеблется в зависимости от качества применяемого оборудования, коммутационной схемы соответствующего расщепления и системы релейной защиты, от нескольких десятых секунды до нескольких (2—3) сек.

В зависимости от рода производства, исполнительных механизмов и инструмента, а также типов электромоторов, их коммутационных и защитных приборов оказывается допустимым оставлять шины без напряжения на промежутки времени, не превышающие предельных для каждого данного случая, так как иначе неизбежен брак продукции или поломка инструмента.

Автоматизация коммунальных сетей является вполне достаточным средством для обеспечения относительной непрерывности и бесперебойности электроснабжения потребителей этих сетей, и нет никаких причин к применению более тяжелых и дорогих схем с двухсторонним питанием, необходимых уже для абсолютной бесперебойности электроснабжения (даже без самых кратковременных исчезновений напряжения на шинах).

Высказанные соображения относятся, конечно, в одинаковой степени как к кабельным сетям высокого напряжения, 6 и 10 кВ, так и к сетям низкого напряжения 220 и 380 В, которые, как будет указано ниже, также предлагаются автоматизировать, оставляя их радиальную конфигурацию.

Далее, к числу основных предпосылок, полностью учтенных при проработке модернизированных схем, следует отнести решение полностью сохранить все три промежуточных звена обычной конфигурации крупной кабельной сети высокого напряжения: фидерную и распределительную сети этого же напряжения и магистральную сеть низкого напряжения. Такое построение кабельной сети, вообще говоря, широко распространенное, имеет много технических и экономических преимуществ и особенно эффективно в условиях быстрого роста нагрузок и числа присоединений, от которых обычно отстает расширение питающих расщеплений.

Авторы разработали модернизированные схемы всех трех названных сетей с тем, чтобы иметь возможность в каждом частном случае наиболее рациональным образом сочетать между собой отдельные модернизированные и обычные сети и наиболее простым и дешевым способом обеспечить требуемую бесперебойность и надежность работы всей сети в целом.

Имея модернизированную и автоматизированную сеть низкого напряжения, нет необходимости одновременно автоматизировать и распределительную сеть высокого напряжения; всякое аварийное нарушение нормального рабочего режима в последней немедленно ликвидируется соответствующим переключательным процессом в сети низкого напряжения, чем и восстанавливается электроснабжение потребителя, питающегося от сети низкого напряжения.

Наоборот, в случае, если потребитель питается либо от неавтоматизированной сети низкого напряжения либо непосредственно от распределительной сети высокого напряжения, модернизация последней оказывается, безусловно, необходимой.

Фидерную сеть высокого напряжения весьма желательно иметь даже при питании от нее только коммунальных нагрузок всегда автоматизированной, что исключит при проектировании добавочные утяжеляющие условия размещения ТП по распределительным кабелям. При выполнении этого требования шины фидерных помещений в смысле бесперебойности фактически приравниваются к шинам генераторных станций или районных питающих подстанций.

В случае же питания от фидерной сети высокого напряжения и промышленных нагрузок, как это практически всегда имеет место в городских сетях, автоматизация фидерной сети высокого напряжения является совершенно необходимой. Конкретно, для самого общего случая питания коммунальных нагрузок оказывается необходимым иметь сочетание нижеследующих видов сетей: 1) автоматизированная фидерная сеть высокого напряжения, 2) обычная, простая распределительная сеть высокого напряжения и 3) автоматизированная магистральная сеть низкого напряжения.

Существующие кабельные сети крупных центров и ме-

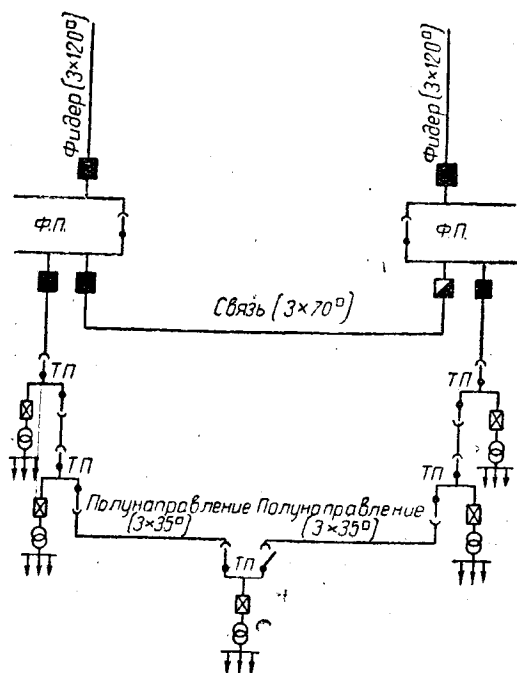


Рис. 1. Принципиальная схема существующей кабельной сети Москвы

тоды их эксплуатации. Обычная коммунальная кабельная сеть состоит в основном из трех отдельных сетей, каждая из которых имеет свое определенное назначение.

На рис. 1 изображена однолинейная схема нескольких участков подобной сети.

Из схемы легко видеть, что:

1. Питательная фидерная сеть высокого напряжения состоит из фидерных кабелей сечением обычно в  $120 \text{ мм}^2$ , отходящих от сборных шин генераторных станций или подстанций и из фидерных помещений, шины которых (секционированные разъединителем) питаются фидерными кабелями: кроме них, обычно между каждыми двумя соседними фидерными помещениями предусмотрены резервные кабели «связи» сечением не менее  $70 \text{ мм}^2$  (нормально незагруженные, но находящиеся под напряжением); эти связи включаются только при выходе из строя одного из фидерных кабелей.

2. Распределительная сеть высокого напряжения состоит из кабелей «направлений», концы каждого из которых присоединены обычно к шинам разных фидерных помещений (или по крайней мере к разным секциям шин одного и того же фидерного помещения) и из нескольких ТП, врезанных своими шинами в кабели этих «направлений».

Образованные этими кабелями петли со врезанными в них ТП работают всегда в виде радиальных лучей, так как они разрезаются в одном из ТП, ближайшем к точке токораздела; сечение этих кабелей выбирается обычно в  $35 \text{ мм}^2$  (в 6-kV сети); число ТП, врезаемых в одну петлю, сильно колеблется в зависимости от плотности нагрузки данного района и достигает как максимум 10—12 шт. при максимальной мощности отдельных ТП до 1000 kVA.

3. Магистральная сеть низкого напряжения состоит из магистральных кабелей с изоляцией до 1000 V, сечением 35—95  $\text{мм}^2$ , проложенных в виде радиальных лучей от шин низкого напряжения соответствующих ТП, в количестве обычно 4—5 магистралей в каждом ТП.

В некоторые наиболее ответственные из этих магистралей врезаны так называемые соединительные пункты (СП), предусматриваемые для приключения к ним новых лучей при расширениях сети, а также и для переключения питания соответствующих магистралей на соседние ТП при авариях как в распределительной сети высокого напряжения, так и в питающих их ТП; эти же СП используются для деления магистралей низкого напряжения в желаемых точках.

От магистралей низкого напряжения через плавкие

вставки, установленные на вводах той или иной конструкции, питаются уже ответвления низкого напряжения составляющие распределительную сеть низкого напряжения.

Из того же рис. 1 видно, что в существующей кабельной сети сверху донизу проведен принцип радиальной конфигурации в самом элементарном его виде.

Основные эксплуатационные недостатки немодернизированной, радиальной кабельной сети проявляются в следующем:

1. Вследствие радиального питания всех сетевых элементов без автоматических переключений питания неизбежны длительные простои потребителей, вызываемые необходимостью прибытия на место аварийного персонала и производства им вручную оперативных переключений.

Как показывает опыт, эти простои в лучшем случае достигают 30—40 min; при неблагоприятных обстоятельствах и при менее совершенной аварийной службе они могут быть значительно дольше.

2. Работа дежурного персонала при ликвидации аварий происходит в атмосфере спешности и крайней нервозности и поэтому неизбежны неправильные операции, вызывающие так называемые «аварии по вине персонала».

3. Вследствие нерациональности и устарелости схем отдельных сетевых звеньев (например, распределительной сети высокого напряжения), а также и релейной защиты (например, полного отсутствия земляной защиты) неизбежны не только неселективные отключения здоровых элементов, но также и утяжеление аварий с распространением их на ряд ответственных сетевых элементов вплоть до распрестройств питающих станций и подстанций.

Все эти недостатки являются и технически и экономически нетерпимыми, так как убыток от простоя только одних промышленных потребителей в союзном масштабе исчисляется миллионами рублей.

**Новая модернизированная и автоматизированная кабельная сеть для питания коммунальных нагрузок.** Мы имеем в виду автоматизированную кабельную сеть строить на следующих принципах:

1. Автоматизированная фидерная сеть высокого напряжения должна иметь обязательное соединение в группу не менее трех фидерных помещений, связанных между собой «кабелями связи», в нормальном режиме отключенными с одного конца, но включающимися автоматически при повреждении или отключении одного из фидерных кабелей. Шины всех фидерных помещений секционированы масляными выключателями, а все масляники оборудованы надлежащей междуфазовой и земляной защитой; нормально питание каждого фидерного помещения производится своим фидерным кабелем.

2. Распределительная сеть высокого напряжения, неавтоматизированная, имеет обычную «петлевую» конфигурацию, с делением петли по возможности в точке токораздела.

В целях облегчения эксплуатации весьма желательна установка на кабельных вводах в ТП земляной защиты, действующей на сигнал.

3. Магистральная сеть низкого напряжения — автоматизирована по простой схеме, предложенной автором.

Схема работает по радиальному принципу, причем концы каждой магистрали заводятся в два ТП, питаемые по высокому напряжению от разных секций шин одного и того же фидерного помещения.

Ниже дается описание этого простейшего варианта с работой магистралей низкого напряжения при одностороннем их питании со стороны их рабочих концов. В целях уменьшения потерь в этих магистралях разработан второй вариант с делением каждой магистрали по середине в особом делительном пункте, причем в нормальных эксплуатационных условиях каждая полумангистраль питается от своего ТП; соединяющий их в делительном пункте контактор разомкнут.

В последнем варианте потери энергии в магистралях низкого напряжения уменьшаются примерно в четыре раза, но несколько усложняется и удорожается схема автоматизации, оставаясь, однако, по существу достаточно простой и надежной.

**Схема автоматизированной фидерной сети высокого напряжения и ее работы в нормальном и аварийном режимах (рис. 2 и 2а)**

а) Все фидерные помещения работают с включенными секционными масляниками и питаются каждый сво-

им фидерным кабелем, загруженным в нормальном режиме не более чем на 66% его пропускной способности.

При повреждении фидерного кабеля выключается секционный масляник, нагрузка соответствующего фидерного помещения воспринимается двумя соседними фидерными кабелями; все «связи» в нормальном режиме находятся под напряжением, но никакой нагрузки не несут, а «направление» несут нагрузку только от врезанных в них ТП.

б) К шинам каждого фидерного помещения, кроме кабелей направлений, несущих нагрузку, должны быть подведены три кабельных ввода, из которых один — фидерного кабеля и два — связей с тем, чтобы в аварийном режиме при повреждении фидерного кабеля каждая из связей, подведенная к шинам обеспеченного фидерного помещения, могла принять на себя нагрузку одной секции этих шин, т. е. половину нагрузки фидерного помещения.

в) Один из трех кабельных вводов каждого фидерного помещения, а именно тот, который приключен ко 2-й секции сборных шин (не питаемой фидерным кабелем), снабжен масляником с пневматическим приводом для автоматического включения соответствующей связи. Этот масляник с пневматическим приводом в нормальном режиме выключен.

Оба других кабельных ввода, а также секционный масляник имеют только ручное включение (с автоматическим приводом для выключения от катушки постоянного тока).

г) Секционный масляник не снабжается защитой, а только выключающей катушкой; поэтому нет необходимости устанавливать трансформаторы тока на шинах фидерного помещения.

д) Секционный масляник выполняется в простейшем виде, без автоматического включающего привода и отпадает необходимость в кольцевании шин и установке особого секционного разъединителя для замены им секционного масляника во время его ремонта и ревизии защитной аппаратуры.

Вследствие этого конструкция фидерного помещения может быть с однорядным расположением масляников, что при кольцевой системе шин практически невыполнимо.

е) На каждом кабельном вводе должен устанавливаться один амперметр, а на каждой секции шин — один линейный вольтметр (с переключателем на три направления); установка земляных вольтметров желательна, но не обязательна.

ж) В случае выбора фидерных кабелей сечением в 120 мм<sup>2</sup> (при 6 кВ) и допустимого для них максималь-

ного тока до 300 А каждый из них в нормальном режиме должен быть загружен не более чем на 200 А, т. е. может передавать мощность, отнесенную к шинам соответствующего фидерного помещения:

$$P = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 300 \cdot 200 \approx 2200 \text{ kVA}.$$

Такой же величины и во всяком случае не больше ее должна быть нагрузка на шинах любого из фидерных помещений; нагрузка на каждой секции сборных шин должна быть соответственно в два раза меньше — около 110 kVA.

Из сказанного очевидно, что каждая «связь» должна иметь пропускную способность не менее 1100 kVA.

Оборудование для защиты, автоматики и блокировки. При работе схемы автоматизированной фидерной сети по радиальному принципу применяются только простейшие одноэлементные реле: максимальные токовые (типа ЭТ-71) и минимального напряжения (типа ЭН-79), причем как в целях возможности блокировки от мгновенных элементов тока и напряжения, так и для обеспечения большей четкости, строгой селективности и быстроты действия во всех случаях применяются комплекты мгновенных, независимых электромагнитных реле (в комбинации с реле времени), а не индукционные реле с ограниченно зависимыми характеристиками (типа ИТ и ИИ).

В качестве вспомогательных и блокировочных реле используются обычные реле РП, одно- и многократные с самоблокировкой и без нее; реле времени РВ, так же и все вспомогательные реле, для большей надежности и простоты схемы работают на постоянном токе, так же как и серийные блинкеры типа ЭС-91. Не останавливаясь подробно на вопросах защиты от замыканий на землю, можно лишь заметить, что она, очевидно, не может вызвать каких-либо трудностей ни при работе ее на выключение ни при работе ее на сигнал. В первом случае работа схемы при замыканиях на землю должна быть совершенно идентична с работой ее при междуфазовых повреждениях, почему и все блокировочные цепи, которые должны действовать при срабатывании защиты от замыканий на землю, должны быть совершенно идентичны с соответствующими цепями, работающими при междуфазовых повреждениях. При работе указанной защиты только на сигнал вследствие радиальности схемы фидерной сети работа ее будет всегда селективна даже при отсутствии реле времени; подобная простейшая защита от замыканий на землю, действующая на сигнал, изображена на рис. 2.

В качестве автоматического включающего механизма для

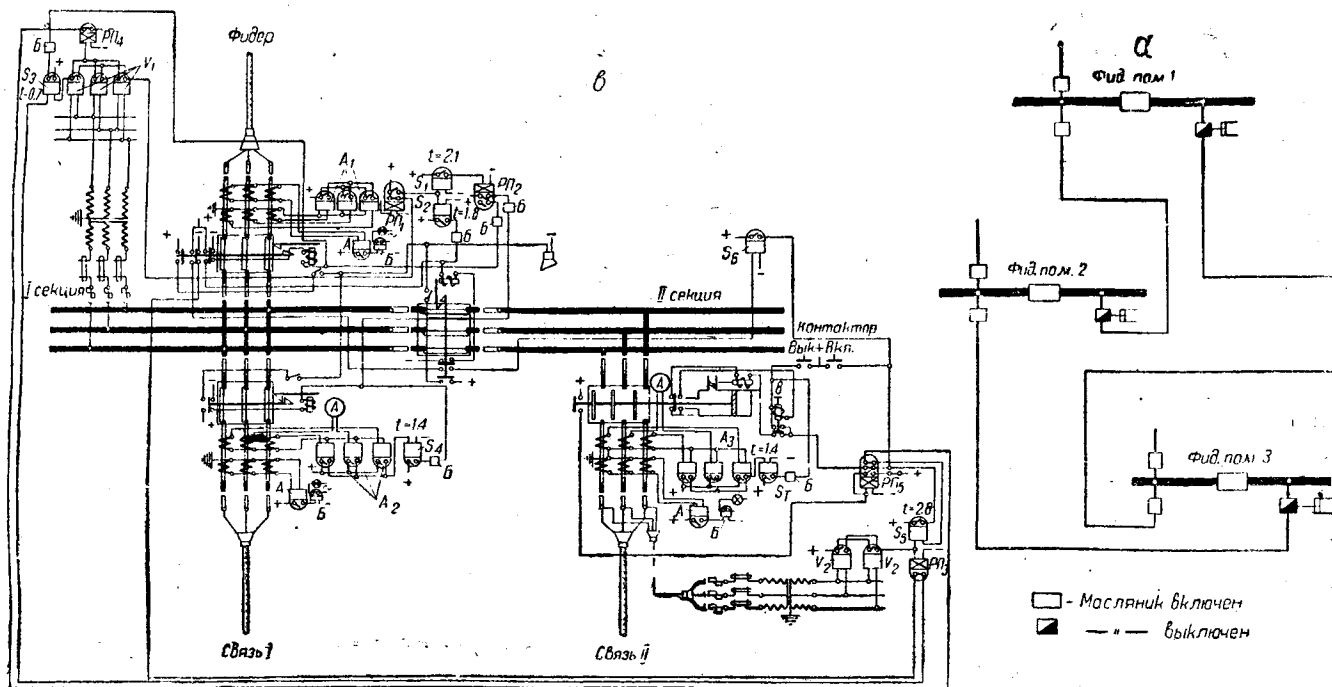


Рис. 2

а — конфигурация автоматизированной фидерной сети высокого напряжения в однолинейном изображении; б — полная трехлинейная схема автоматизированного фидерного помещения. А, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub> — максимальные мгновенные реле ЭТ-71; V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> — мгновенные реле минимального напряжения ЭН-79; S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> — реле времени РВ; РП<sub>1</sub>, РП<sub>2</sub>, РП<sub>3</sub> — реле промежуточные (без прилипающих контактов); Б — блинкеры серийные (выдержки времени t указаны ориентировочно)



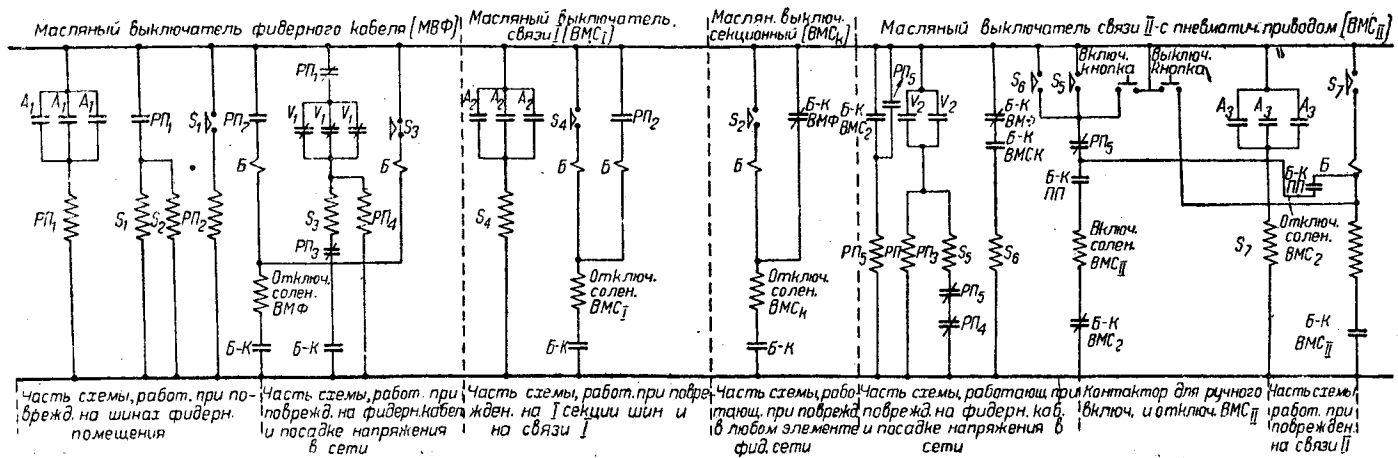


Рис. 2а. Развернутая схема автоматизированного фидерного помещения

масляных выключателей рекомендуется полностью оправдавший себя за границы многолетней практики пневматический привод — простой, надежный и дешевый механизм (применяемый также уже много лет в угольных шахтах Донбасса).

Изготовление подобных приводов освоено заводом Уралэлектромашина, поэтому не может быть сомнений в реальности осуществления подобных приводов для автоматизации фидерной кабельной сети, устанавливаемых в сравнительно небольших, необслуживаемых фидерных помещениях.

**Работа схемы при авариях.** Авария в любом элементе фидерной сети сопровождается, помимо селективного отключения поврежденного элемента, одновременным же выключением секционного масляного выключателя, что приводит к разделению шин аварийного фидерного помещения на две отдельно работающих секции.

Ниже приводится описание работы схемы при междофазовых повреждениях ее элементов.

**Повреждение фидерного кабеля.** При подобном повреждении, обязательно сопровождающемся исчезновением напряжения на шинах соответствующего фидерного помещения, срабатывают реле понижения напряжения  $V_1$  и через свое реле времени  $S_2$  отключают фидерный масляный выключатель; последний при выключении замыкает один из блокконтактов на своем валу, что приводит к замыканию цепи отключающей катушки секционного масляника и его выключению. Обе секции шин тем самым лишаются напряжения, что приводит к нижеописанной работе элементов, автоматически восстанавливающих это напряжение на обеих секциях шин. Напряжение на секции шин  $I$  восстанавливается включением в соседнем фидерном помещении нормально отключенного конца связи  $I$  масляником с пневматическим приводом. Импульс для его включения получается от замыкания контактов реле понижения напряжения  $V_2$  через соответствующее реле времени  $S_5$ , которое своим контактом замыкает цепь включающей катушки пневматического привода через нормально замкнутые контакты промежуточного реле  $РП_5$  и блокировочные контакты пневматического привода.

Напряжение на секции шин  $II$  восстанавливается включением в данном фидерном помещении нормально отключенного конца связи  $II$  масляником с пневматическим приводом. Импульс для его включения получается от замыкания блокконтактами на валах фидерного и секционного масляников катушки особого «регулирующего» реле времени  $S_6$ , предназначенной для обеспечения работы автоматизированной схемы низкого напряжения. Это реле времени  $S_6$  своим контактом замыкает цепь включающей катушки пневматического привода через нормально замкнутые контакты промежуточного реле  $РП_6$  и блокировочные контакты пневматического привода.

Эти операции обеспечивают восстановление напряжения на обеих секциях шин аварийного фидерного помещения через 2—3 сек после его исчезновения, причем, однако, питание его переходит на аварийный режим, т. е. по связям  $I$  и  $II$  от соседних фидерных помещений, при выключенном секционном маслянике.

Исчезновение или посадка напряжения

в системе или на шинах генераторной станции или питающей кабельную сеть подстанции. Эта авария сопровождается одновременным понижением или исчезновением напряжения на шинах всех тех фидерных помещений, которые питаются от общих генераторных шин (станций или подстанций). Поэтому она вызывает мгновенное срабатывание обоих комплектов реле понижения напряжения  $V_1$  и  $V_2$ , приключенных соответственно к секции шин  $I$  данного фидерного помещения и к кабельному вводу связи  $II$ . Замыкание контактов этих реле оживляет обмотки промежуточных реле  $РП_5$  и  $РП_6$ , размыкающих свои нормально замкнутые контакты, через которые подводятся минусовые цепи к реле времени  $S_2$  и  $S_5$ , входящие в указанные выше комплекты реле понижения напряжения  $V_1$  и  $V_2$ . Благодаря этому не может произойти замыкания цепей выключения и включения тех масляников (фидерного и на кабельном вводе связи  $II$ ), которые замыкаются через контакты указанных реле времени. Следовательно, ни один из этих масляников (и вообще ни один из масляников схемы фидерной сети высокого напряжения) не изменит своего нормального положения, отвечающего обычному эксплуатационному режиму сети, что является вполне правильным решением, так как при исчезновении или значительной посадке напряжения во всей сети никакие автоматические переключения отдельных элементов, конечно, не могут восстановить напряжения на шинах потребителей.

**Повреждение на секции шин  $I$  фидерного помещения.** Подобная авария сопровождается возникновением сверхтока, срабатывает комплект максимальных реле  $A_1$  на питающем фидерном кабеле, оживляющий промежуточное реле  $РП_1$ , имеющее два контакта: нормально замкнутый, через который подводится плюс к комплекту реле падения напряжения  $V_1$ , и нормально разомкнутый, подающий плюс на катушки двух реле времени  $S_1$  и  $S_2$  с разными установками времени (порядка 2,1 и 1,8 сек), из которых первое ( $S_1$ ) через контакты промежуточного реле  $РП_2$  воздействует (одновременно) на цепи отключения масляников фидерного и на кабельном вводе связи  $I$ , а второе  $S_2$  — на цепь отключения секционного масляника.

Реле  $S_2$  имеет меньшую установку времени и в первую очередь отключается секционный масляник, что отделяет здоровую секцию шин  $II$  от поврежденной секции  $I$ . Так как повреждение на секции шин  $I$  еще не отключено от источника питания, — срабатывает также и реле времени  $S_1$  и через контакты реле  $РП_3$  замыкает одновременно цепи отключения двух масляников: фидерного и на кабельном вводе связи  $I$ ; таким образом повреждение на секции шин  $I$  оказывается всесторонне отключенным. Одновременно со срабатыванием максимальных реле  $A_1$  через нормально замкнутый контакт реле  $РП_4$ , отключается цепь, подающая плюс на контакты комплекта реле падения напряжения  $V_1$ , что исключает возможность работы этой защиты.

Подобная блокировка, препятствуя работе защиты падения напряжения при повреждениях на шинах, позволяет дать этой защите минимальную установку времени в 0,7 сек, что, конечно, с точки зрения длительности обесточивания потребителей весьма желательно. Восстановление напряжения на шинах здоровой секции  $II$  осуществляется

автоматическим включением масляника на кабельном вводе связи II, совершенно таким же образом, как при повреждении фидерного кабеля.

Повреждение на секции шин II. Срабатывающие при этой аварии максимальные реле  $A_1$  оживляют катушку реле  $РП_1$  и реле времени  $S_2$  так же, как происходит при повреждении секции I. Благодаря этому отключается секционный масляник. Ввиду отделения повреждения от источника питания, сверхток исчезает, и реле  $S_1$ , имеющее большую установку времени, не успевает сработать, поэтому никакие другие масляники, в том числе и фидерный, не отключаются. По последней причине не может произойти и автоматического включения масляника на кабельном вводе связи II, так как не будет замкнута цепь его включения (вследствие остающегося разомкнутым блок-контакта на валу фидерного масляника).

Из этого следует, что даже при наиболее тяжелых видах аварий (на шинах фидерного помещения) напряжение на здоровой секции шин немедленно автоматически восстанавливается, и селективно отключается только поврежденная секция.

Повреждение в кабеле связи I. Кабель связи I находится всегда под напряжением с конца, приключенного к секции шин I рассматриваемого фидерного помещения и повреждение в нем сопровождается возникновением сверхтока, вызывающего срабатывание максимальной защиты (реле  $A_2$ ), отключающей соответствующий масляник, отчего пропадает напряжение на противоположном конце этого кабеля (в соседнем фидерном помещении) и срабатывает комплект реле падения напряжения  $V_2$  этого же помещения. Контакты этих реле через контакты своего реле  $S_6$  замыкают (через нормально замкнутый контакт  $РП_1$ ) цепь включающей катушки пневматического привода, автоматически включающего соответствующий масляник на конце поврежденной связи, приключенной к секции шин II соседнего фидерного помещения.

Так как указанное включение производится при неликвидированном повреждении в кабеле связи I и является по существу повторным, — возможны два случая:

а) Повреждение в кабеле исчезает до повторного включения масляника пневматическим приводом. В этом случае связь I остается включенной от секции шин II соседнего фидерного помещения.

б) Повреждение в кабеле не исчезает, и повторное включение происходит на неликвидированное повреждение; при этом от действия сверхтока срабатывает максимальная защита (реле  $A_2$ ), замыкающая через контакты своего реле времени  $S_7$  цепь выключающей катушки пневматического привода, что приводит к отключению соответствующего масляника, причем замыкается блок-контакт на его валу, оживляющий цепь включения катушки промежуточного реле  $РП_2$ , через нормально замкнутый контакт которого проходит цепь включающей катушки пневматического привода. При оживлении катушки реле  $РП_2$  указанный контакт размыкается, а реле  $РП_2$  самоблокируется, вследствие чего вторичное автоматическое включение масляника с пневматическим приводом оказывается невозможным, деблокировка указанной цепи производится ручным рубильником, размыкающим цепь самоблокировки реле  $РП_2$ .

**Восстановление нормальной схемы питания после аварии.** После ремонта фидерного кабеля сначала включается ручную фидерный масляник (после включения фидерного кабеля со стороны питающих шин); затем временно ручную выключается масляник связи, приключенный к секции I; после этого включается, также ручную, секционный масляник и отключается контактором масляник связи, приключенный к секции II.

Восстановление нормального питания потребителей по обычной схеме этим заканчивается и, как видно из вышеизложенного, без перерыва напряжения на шинах, но с кратковременной параллельной работой двух фидерных кабелей.

После окончания этих операций в соседнем фидерном помещении выключается контактором включившийся при аварии масляник с пневматическим приводом, а в рассматриваемом фидерном помещении включается ручную масляник связи, приключенный к секции I.

Параллельное соединения фидерных кабелей можно при желании избежать путем изменения последовательности перечисленных операций за счет создания небольшого перерыва напряжения на шинах аварийного фидерного помещения.

**Схема распределительной сети высокого напряжения** (рис. 3). Как видно из прилагаемого рис. 3, работа самой

схемы и соответствующих защит от замыканий на землю и от междупазовых повреждений происходит следующим образом.

В условиях нормальной эксплуатации каждая «петля» (направление) в точке токораздела, или близкой к ней, делится на два «полунаправления», каждое из которых питается либо от отдельного фидерного помещения, либо от разных секций шин одного и того же фидерного помещения через масляник с автоматическим выключением от установленных на нем релейных защит — максимальной и земляной.

В точке деления направления для увеличения оперативной гибкости схемы (например, для замыкания и размыкания транзитов) желательна установка особого масляного выключателя с максимальной защитой с минимальной установкой времени. Кабельные, линейные вводы в ТП не имеют масляных выключателей, а только разъединители.

Таким образом при повреждении какого-либо элемента полунаправления как междупазовым, так и однофазным на землю при работе земляной защиты на выключение отключается сразу все полунаправление.

Однако для ускорения и облегчения работы аварийного персонала на всех входящих кабельных вводах в ТП устанавливаются трансформаторы тока типа Ферранти с воздействием на простейшие бликера — для селективной сигнализации заземлений.

При подобных условиях прибывший на место аварийный персонал, который начнет осмотр с последнего (ТП) поврежденного полунаправления, сможет легко убедиться, на каком участке полунаправления произошло замыкание на землю. Выявив этот участок после его двухстороннего отключения, будет легко восстановить питание потребителей, оперируя масляником на головном участке поврежденного полунаправления и масляником в точке деления направления.

Необходимо отметить, что и при междупазовом повреждении, начавшемся с появления земли (а также и при двухполюсном заземлении) работа аварийного персонала будет крайне облегчена бликерами, работающими от трансформаторов тока Ферранти, так как по их показаниям совместно с показанием бликера на головном маслянике поврежденного направления аварийный персонал сможет сейчас же определить место происшествий аварии.

Только в случае междупазового повреждения, не начавшегося и не сопровождаемого замыканием на землю, нахождение места повреждения будет производиться таким же примитивным способом, как и в настоящее время, т. е. без селективной его сигнализации.

Однако следует помнить, что подобные чисто междупазовые повреждения будут явлением исключительно редким.

Из сказанного очевидно, что за счет незначительного удорожания схемы обычной распределительной сети при установке трансформаторов тока Ферранти с бликерами можно заметно снизить время ее аварийных простоев, за счет ускорения нахождения места повреждений благодаря селективной сигнализации замыканий на землю.

На рис. 3 изображена принципиальная схема защиты элементов одного полунаправления, отличающаяся крайней простотой.

На каждом головном маслянике направления должна устанавливаться максимальная защита и, кроме того, земляная защита, действующая либо на сигнал либо на выключение.

При этом в целях охвата и селективного отключения двухполюсных замыканий на землю максимальная защита должна обязательно быть трехфазной и осуществляться по возможности не катушками типа КАМ, а выносными реле, что обеспечит большую надежность и селективность.

Предлагаемая схема земляной защиты применима как при работе ее на выключение, так и при использовании ее только для сигнализации замыканий на землю в компенсированных сетях.

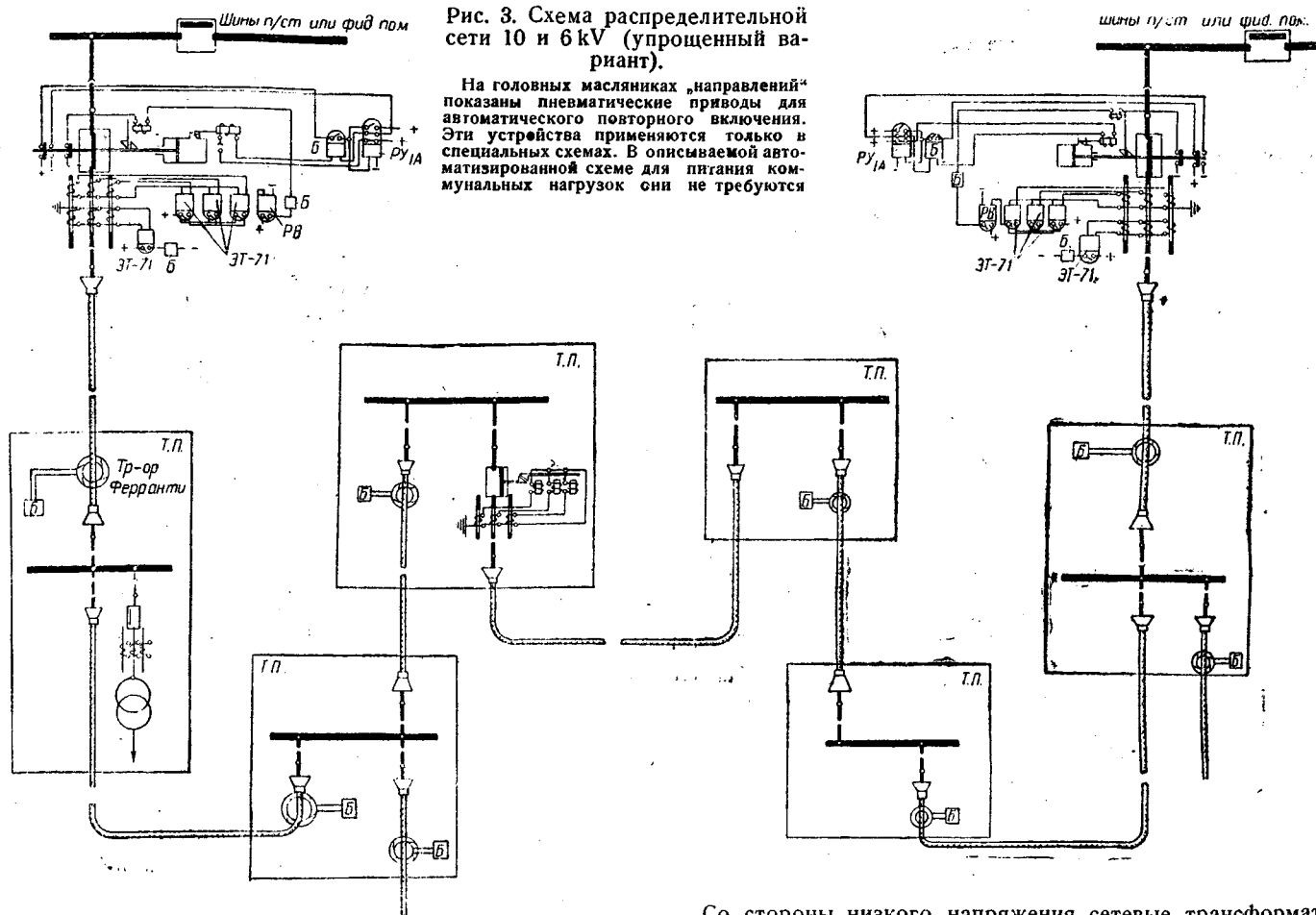
Отличие в работе защиты будет заключаться только в том, что в первом случае будет происходить выключение головного масляника от земляной защиты, во втором случае на головном маслянике замыкание на землю (улет только сигнализироваться).

На кабельных вводах в ТП, не имеющих масляных выключателей, замыкания на землю будут только сигнализироваться, причем эта сигнализация будет всегда селективной, вследствие того, что она осуществляется мгновенным реле или бликером в то время как отключение головного масляника направления от земляной защиты в фидерном



Рис. 3. Схема распределительной сети 10 и 6 кВ (упрощенный вариант).

На головных масляниках „направлений“ показаны пневматические приводы для автоматического повторного включения. Эти устройства применяются только в специальных схемах. В описываемой автоматизированной схеме для питания коммунальных нагрузок они не требуются



помещении будет происходить всегда с выдержкой времени.

Работа предлагаемой схемы при междупазовых повреждениях менее совершенна, чем при замыканиях на землю, так как эта защита установлена только на головном маслянике и не обеспечивает ни селективного отключения ни селективной сигнализации поврежденного участка, а восстановление питания возлагается на автоматизацию сети низкого напряжения.

Резюмируя, можно отметить, что предлагаемая схема путем ничтожных дополнительных затрат обеспечивает большие эксплуатационные преимущества по сравнению с принятым в настоящее время методом нахождения повреждений в распределительной сети (путем постепенного отключения ее участков).

Схема автоматизированной сети низкого напряжения по варианту без делительных пунктов в нормальном и аварийном режимах (рис. 4). Оборудование трансформаторных выводов со стороны высокого и низкого напряжений. Со стороны высокого напряжения сетевые трансформаторы желательны, но не обязательно, защищать масляными выключателями с трехфазной максимальной защитой.

В пользу подобного оборудования говорят следующие соображения:

1. Необходимо надежно и быстро, теоретически мгновенно отключать трансформатор при его повреждении, чтобы не нарушать селективности процессов автоматизации; ввиду определенной по току и времени регулировки максимальной защиты масляник отключается только при к. з. в обмотках трансформатора, но не при его перегрузках.

2. Желательно максимально облегчить работу эксплуатационного персонала при определении места повреждения и при обратном включении трансформатора.

3. Одновременно с упрощением увеличивается надежность всякого рода оперативных переключений и переводов нагрузки в соседние ТП, что при автоматизированной сети низкого напряжения приобретает вполне актуальное значение.

В дальнейшем эти масляные выключатели подлежат замене на разъединители мощности, осваиваемые союзными заводами.

Со стороны низкого напряжения сетевые трансформаторы следует защищать обычными плавкими трубчатыми предохранителями типа ПР-1 для селективного отключения при перегрузках.

Характеристики этих предохранителей и подбор плавких вставок должен быть согласован с выбранными установками максимальной защиты как на магистралях низкого напряжения (реле ЭР), так и на трансформаторных масляниках (катушки КАМ).

Кроме перечисленных защит, крайне желательна установка на трансформаторах какой-либо термической защиты, которая выключала бы масляник на стороне высокого напряжения. Подобная защита служила бы надежным резервом к защите предохранителями низкого напряжения при перегрузках трансформатора.

Следует подчеркнуть, что в крупных кабельных сетях установка особой земляной защиты на стороне высокого напряжения сетевых трансформаторов обычно не обязательна, так как при малых коэффициентах трансформации токи замыкания на землю (как емкостные в некомпенсированных сетях, так и остаточные ваттные в сетях компенсированных) будет реагировать максимальная защита, которая произведет почти мгновенное селективное отключение поврежденного сетевого трансформатора; обязательным условием при этом является установка максимальной защиты на всех трех фазах.

Оборудование нормально включенных концов магистралей низкого напряжения. В качестве коммутационного аппарата применяется обычный контактор КТ-33 или КТ-34 на 150 или 300 А с питанием его катушки от высокого напряжения через понизительный трансформатор (напряжения или собственного расхода). Для отключения контактора при недопустимых перегрузках магистрали низкого напряжения при к. з. в ней устанавливается максимальное электромагнитное реле типа ЭР с небольшой выдержкой времени (порядка 0,25—0,5 sec) без самовозврата с размыкающими контактами. Работа этого реле должна быть согласована в смысле селективности с работой плавких предохранителей как на домовых вводах, так и на выводах низкого напряжения сетевых трансформаторов.

Для дистанционного выключения на случай ремонтов и иных эксплуатационных надобностей предусматривается ручной рубильник в цепи катушки контактора. Предлага-

гаемая схема отключения катушек контакторов гарантирует от неселективных выключений контактора при нечеткой работе предохранителей на вводах, так как даже при к. з. на вводах или в магистралях низкого напряжения вследствие больших токов к. з., реактанс обмоток трансформатора обеспечит такое остаточное напряжение на шинах высокого напряжения в ТП, которое оказывается достаточным для удержания катушкой своего контактора во включенном положении.

Оборудование «резервных» нормально отключенных концов магистралей низкого напряжения. Кроме контактора и максимального реле типа ЭР, включенных и действующих так же, как на рабочем конце магистрали низкого напряжения, предусматриваются два вспомогательных реле с шунтовыми обмотками, присоединенными так, как показано на рис. 4.

Одно из этих реле, обычное промежуточное реле переменного тока ЭП, — мгновенного действия, с нормально замкнутым контактом (при обесточенной катушке); второе реле типа ЭР с самовозвратом, с замедленным действием, с нормально разомкнутым контактом (при обесточенной катушке). Назначение этих реле — не допускать включения контактора при одновременном исчезновении напряжения как на рабочем конце магистрали, так и на стороне высокого напряжения того ТП, к которому приключен резервный конец данной магистрали низкого напряжения. Замедление действия реле ЭР (на 0,5–0,75 сек) необходимо для того, чтобы исключить возможность включения контактора резервного конца магистрали после исчезнувшей посадки напряжения в сети или на фидере высокого напряжения в случае недостаточно точной работы соответствующих цепей включения и отключения в схеме сети высокого напряжения фидерного помещения (вследствие несовершенства реле времени РВ).

Кроме перечисленных аппаратов в схеме, необходима еще кнопка с самовозвратом для дистанционного включения контактора.

Назначение всех аппаратов понятно из схемы рис. 4 и не нуждается в разъяснениях. Следует только отметить, что максимальное реле на рабочем конце магистрали низкого напряжения необходимо не только для отключения к. з., но и для блокировки от повторного включения контактора при неисчезающем к. з. в магистрали низкого напряжения; установка времени на этом реле дается на 0,5 сек больше, чем на таком же реле рабочего конца магистрали.

Импульс, необходимый для включения контактора на резервном конце магистрали, создается промежуточным реле ЭП, обмотка которого питается от напряжения самой магистрали, как это видно из рис. 4; при наличии ручного рубильника в цепи катушки контактора и кнопки с самовозвратом обеспечивается дистанционное управление действием контактора, что может потребоваться в эксплуатационных условиях.

При желании иметь световую или звуковую сигнализацию положения контакторов она может быть легко осуществлена, добавляя соответствующие блокконтакты.

Нормальный режим при питании магистрали от ее «рабочего» конца. Все магистрали низкого напряжения включены и питаются со стороны рабочих концов через соответствующие контакторы. Со стороны резервных концов все магистрали отключены, причем положение контактов реле ЭП определяется наличием напряжения на резервных концах включенных магистралей (при наличии напряжения контакты разомкнуты), а контактов реле ЭР — наличием напряжения на стороне высокого напряжения соответствующего ТП (при наличии напряжения контакты замкнуты).

Повреждения одного из сетевых элементов. Наиболее обычные повреждения следующие:

1. К. з. в магистрали низкого напряжения как междофазовое, так и на землю (сеть низкого напряжения при напряжении 380/220 В работает обычно с глухозаземленной нейтралью). От действия максимального реле ЭР (без самовозврата) отключается контактор на рабочем конце магистрали, после чего включается, а затем вновь немедленно отключается контактор на резервном ее конце, если только к. з. не успело «уже» исчезнуть. В подобных случаях магистраль остается обесточенной до прибытия на место аварийного персонала.

2. Запалывание работы предохранителя на домовом вводе. Действие схемы на «рабочем» конце магистрали аналогично описанному выше, состоя-

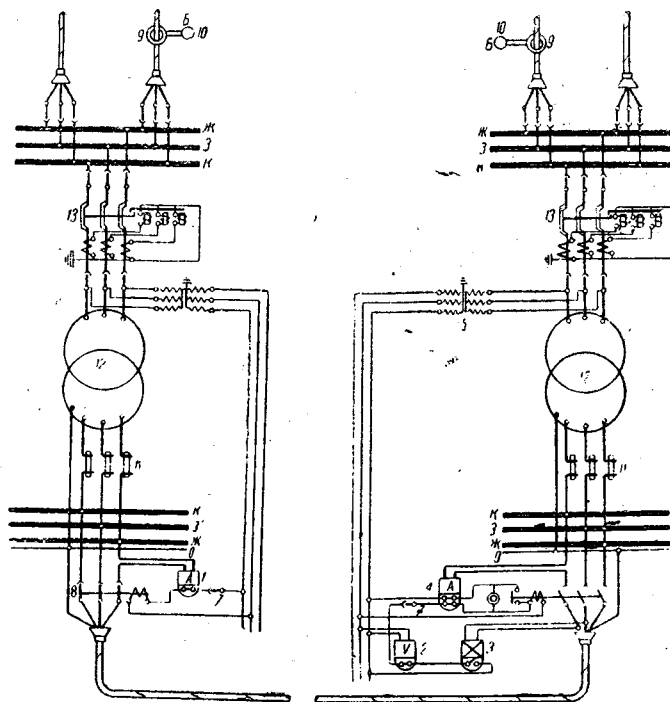


Рис. 4. Трехлинейная схема автоматизированной магистральной сети низкого напряжения.

1 — реле максимальное типа ЭР с выдержкой времени до 1 сек без самовозврата с размыкающими контактами; 2 — реле повышения напряжения типа ЭР с выдержкой времени до 0,5 сек с самовозвратом; 3 — реле промежуточное мгновенное ЭП с самовозвратом; 4 — то же, что 1, но с двумя контактами; 5 — комплект трансформаторов напряжения из трех однофазных единиц или небольшой трансформатор собственных нужд (5 kVA); 6 — кнопка для дистанционного включения контактора (с самовозвратом); 7 — ручной однополюсный рубильник на 10 А; 8 — контактор трехполюсный на рабочую силу тока 150–300 А с дистанционным включением и выключением; 9 — трансформатор тока типа Ферранти; 10 — блинкер переменного тока, работающий от трансформатора Ферранти; 11 — предохранитель типа ПР-1; 12 — сетевой трансформатор мощностью до 320 kVA; 13 — масляный выключатель с автоматическим выключением от привода КАМ

роны резервного конца включившийся контактор отключится от действия максимального реле ЭР только в том случае, если перегорание предохранителя на вводе затянется на большее время, чем сумма установок времени на соответствующих реле ЭР, составляющих около 0,75 сек. В противном случае контактор на «резервном» конце останется включенным — магистраль перейдет на работу аварийного режима. В случае, если предохранитель на вводе вовсе не перегорит, вся магистраль обесточится, как указано в п. 1.

3. Разрыв (растяжка) магистрального кабеля низкого напряжения. Это наиболее частое повреждение в сети низкого напряжения, если оно не сопровождается к. з., характеризуется только исчезновением напряжения на одной, двух или трех фазах резервного конца соответствующей магистрали низкого напряжения. Действие схемы на этом конце будет зависеть от того, сколько жил кабеля разорвалось и сколько и на каких фазах установлено реле ЭП (на резервном конце этого кабеля).

Представляется во всяком случае очевидным, что схема будет стремиться восстановить питание обесточенной магистрали со стороны ее резервного конца путем автоматического включения контактора на этом конце, который и будет оставаться включенным за исключением случаев, когда он будет отключен действием максимальных реле ЭР.

Последнее может быть либо в случае к. з. между жилами оторвавшегося отрезка кабеля либо при наличии уравнительных токов между трансформаторами, питающими рабочий и резервный концы магистрали. Так как последнее условие мало вероятно, то в известных, правда, редких случаях возможна параллельная работа этих трансформаторов на двух фазах; однако ничего опасного подобная работа не представляет, так как она контролируется максимальными реле ЭР на «рабочем» конце магистрали, которые и произведут отключение контактора на этом конце, если уравнительный ток возрастет до опас-

ной величины. Понятно, что отрезок магистрали со стороны рабочего конца будет продолжать питаться без каких-либо его переключений (за исключением случаев перегрузки уравнительным током).

4. К. з. в распределительном кабеле высокого напряжения («направлений»). Повреждение подобного рода вызывает отключение от действия максимальной или земляной защиты всей полупетли, вследствие чего лишаются напряжения шины высокого напряжения всех врезанных в нее ТП; это вызывает мгновенное отключение всех включенных контакторов, т. е. обесточение всех питающихся от них магистралей низкого напряжения и немедленное их автоматическое включение со стороны их резервных концов.

5. К. з. в обмотках сетевого трансформатора. Подобное повреждение вызывает почти мгновенное отключение поврежденного трансформатора его масляником или предохранителем со стороны высокого напряжения. Так как трансформаторы напряжения или собственно расхода приключены к зажимам сетевого трансформатора, то при подобной аварии они также обесточиваются, что влечет за собой мгновенное отключение контакторов на «рабочих» концах всех магистралей, питающихся от данного ТП; питание этих магистралей автоматически переводится на резервное путем включения контакторов на их резервных концах.

6. К. з. в фидерном кабеле. Вследствие специальной схемы присоединений направлений распределительной сети высокого напряжения к секциям шин автоматизированных фидерных помещений при подобных повреждениях обесточиваются одновременно все те ТП, к шинам которых приключены рабочий и резервный конец каждой магистрали низкого напряжения, почему автоматика сети низкого напряжения сработать не сможет. После срабатывания автоматики фидерной сети одновременно восстанавливается напряжение на обеих секциях шин фидерного помещения, а следовательно, и на всех элементах питающихся от них направлений распределительной сети высокого напряжения.

Благодаря этому оживляется ток и автоматическое включение контакторов на рабочих концах отключившихся магистралей низкого напряжения. Контактры на их резервных концах не включаются вследствие предусмотренной схемой блокировки цепей их катушек вспомогательными шунтовыми реле ЭР замедленного действия.

Таким образом при подобной аварии работа сети низкого напряжения не перейдет в аварийный режим, причем питание магистралей будет попрежнему производиться от их рабочих концов.

7. Общая посадка напряжения в кабельной сети. При подобном повреждении работа автоматизированной фидерной сети характеризуется тем, что обе секции шин любого фидерного помещения остаются обесточенными впредь до подачи на них напряжения своим фидерным кабелем и при том одновременно на обе секции шин. Поэтому, как видно из изложенного, восстановление питания потребителей низкого напряжения произойдет совершенно так же, как указано в п. 6 для к. з. в фидерном кабеле.

8. К. з. на одной из секций шин фидерного помещения. Как указано было при описании работы автоматизированной фидерной сети, подобное повреждение вызывает селективное отключение максимальной защитой только поврежденной секции шин путем ее отделения секционным масляником от остальной сети.

Совершенно очевидно, что тем самым вызывается обесточение всех тех ТП, которые питаются от тех направлений распределительной сети высокого напряжения, головные масляники которых приключены к поврежденной секции шин. Таким образом при этой аварии работа автоматизированной сети низкого напряжения совершенно идентична таковой при повреждении распределительного кабеля высокого напряжения и восстановление питания потребителей низкого напряжения происходит так же, как описано в п. 4.

Проанализированные виды повреждений составляют, вероятно, не менее 99% всевозможных аварий. Как видно, четкая работа предложенной схемы обеспечивает автоматическое восстановление питания всех потребителей коммунальной нагрузки через промежутки времени не более 3—3,5 сек, за исключением случаев посадки напряжения в сети, продолжительность которой определяется причинами, независимыми от кабельной сети.

**Кабельная сеть, комплектуемая из модернизированной схем фидерной и распределительной сетей высокого напряжения и магистральной сети низкого напряжения (рис. 5).**

На рис. 5 изображена однолинейная схема участка кабельной сети в том виде, в каком она должна быть осуществлена для бесперебойного питания потребителей коммунальной нагрузки.

Фидерная сеть высокого напряжения осуществляется по описанному выше автоматизированному варианту с включенными секционными масляниками и выключенными кабельными связи, причем каждое фидерное помещение питается своим фидерным кабелем, подведенным к секции шин I его распределительного устройства (на рис. 5 изображено три таких фидерных помещения, однако, число их может быть и больше).

От обеих секций шин этих фидерных помещений питаются разомкнутые петли направления распределительной сети высокого напряжения, выполненной по описанному выше простейшему варианту.

Наиболее характерной особенностью схемы является присоединение отдельных направлений распределительной сети высокого напряжения к секциям шин фидерных помещений.

На рис. 5 изображены два предлагаемых способа таких присоединений. Слева показано присоединение обоих головных масляников к разным секциям шин одного и того же фидерного помещения А; справа два направления присоединяются каждое своими головными масляниками к секции шин разных (соседних) фидерных помещений В и В. Обязательность одного из описанных способов присоединений диктуется особенностями работы автоматизированной схемы низкого напряжения, состоящими в том, что концы магистралей низкого напряжения должны всегда присоединяться к таким ТП, которые питаются от разных секций шин одного и того же фидерного помещения. Это возможно при питании отдельных направлений распределительной сети высокого напряжения как от одного и того же, так и от разных фидерных помещений.

Из приведенного выше описания следует, что при предлагаемых способах присоединения распределительных кабелей высокого напряжения и магистралей низкого напряжения легко добиться рациональной работы всей схемы в целом даже при выпадении любого из фидерных кабелей или общей посадки напряжения в сети. Это обеспечивается тем, что автоматика на магистралях низкого напряжения остается нечувствительной к подобным авариям, так как последние ликвидируются автоматикой фидерной сети.

Оба способа присоединений в отношении работы схемы равноценны; выбор одного из них должен определяться наиболее удобной и экономически выгодной трассой прокладки распределительных кабелей высокого напряжения, а также окончательной разбивкой магистралей низкого напряжения и ТП по объектам обслуживаемого сетью района. Этот окончательный выбор должен производиться всегда уже в стадии рабочего проектирования.

Работа схемы отличается большой четкостью; при аварии на любом элементе одного из составляющих звеньев всей комплектуемой модернизированной сети восстановление питания потребителя коммунальной нагрузки происходит за счет перехода на аварийный режим только того звена всей сети, в элементах которого произошло повреждение, или же того, которое по смыслу схемы призвано срабатывать также и при повреждении в неавтоматизированном звене сети (например, распределительной сети высокого напряжения).

Благодаря этому не только значительно сокращается число ненужных по существу автоматических переключений отдельных элементов, но, что особенно важно в эксплуатационном отношении, отпадает излишняя, весьма большая работа, связанная с обратным переводом на нормальный режим всех многочисленных автоматизированных элементов, если бы они «неселективно» переключались на аварийный режим.

Наиболее характерными примерами описанного свойства работы автоматизированной сети являются следующие:

1. Повреждение и отключение фидерного кабеля вызывает переход на аварийный режим только соответствующих элементов двух соседних фидерных помещений, но отнюдь не всех питающихся от данного фидерного помещения автоматизированных элементов магистральной сети низкого напряжения.

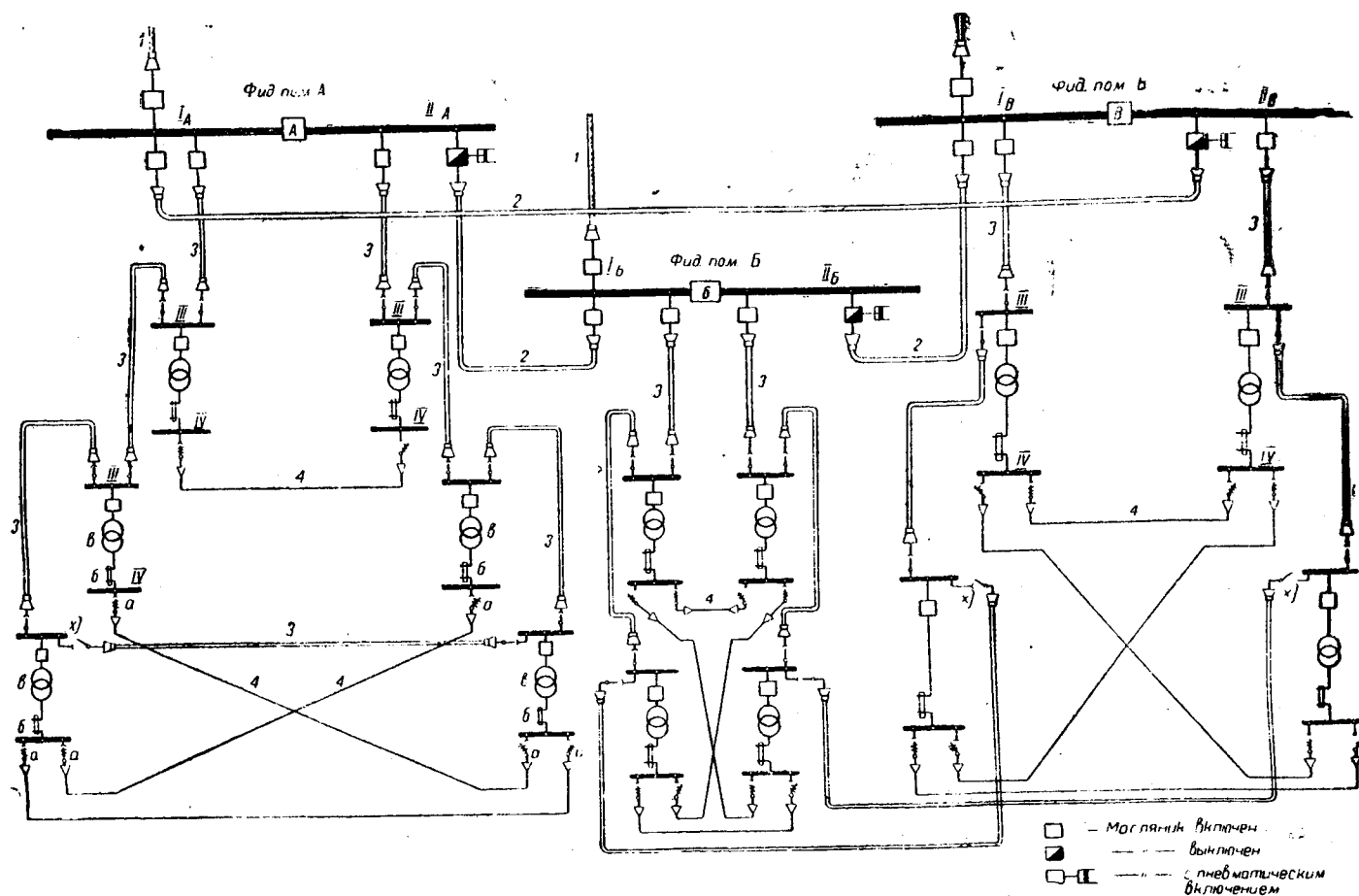


Рис. 5. Кабельная сеть, скомбинированная из модернизированных схем фидерной и распределительной сетей высокого напряжения и магистральной сети низкого напряжения.

А, Б, В — фидерные помещения.  $I_A$  и  $II_A$  — первая и вторая секция шин фидерного помещения А; III и IV — шины высокого и низкого напряжений ТП; 1, 2, 3 и 4 — кабели соответственно фидерный, распределительный и связи высокого напряжения и магистральный низкого напряжения; а — контактор низкого напряжения типа КТ; б — предохранитель низкого напряжения, защищающий от перегрузок; в — сетевой понижающий трансформатор (разъединители, показанные разомкнутыми, желательно заменить масляниками с автоматическим отключением от максимальной защиты)

2. Посадка или исчезновение напряжения в системе или только на сборных шинах генераторной станции или питающей подстанции и притом даже в том случае, когда восстановление этого напряжения на отдельных фидерных кабелях происходит не одновременно (как это иногда имеет место в действительности), также не вызывает «неселективного» перехода на аварийный режим автоматизированных элементов сети низкого напряжения, а только элементов фидерной сети высокого напряжения.

3. Наоборот, повреждение любого элемента не автоматизированной распределительной сети высокого напряжения, являющейся средним звеном всей кабельной сети, естественно, вызывает срабатывание и переход на аварийный режим соответствующих элементов автоматизированной сети низкого напряжения, однако только тех, которые в нормальном режиме получали питание от поврежденного элемента неавтоматизированной распределительной сети высокого напряжения.

4. Наконец, при повреждении какого-либо элемента автоматизированной сети низкого напряжения, на аварийный режим переключаются только те элементы, питание которых зависит от этого поврежденного элемента.

Например, при повреждении сборки низкого напряжения в каком-либо ТП, на аварийный режим переключаются только те магистрали низкого напряжения, которые получали питание в нормальных условиях от данного ТП.

Заслуживает внимание также и гибкость предлагаемой схемы и простота ее перевода на «летний» режим в целях — уменьшения потерь в незагруженных сетевых трансформаторах путем отключения части их от сети. Перевод на этот режим совершается без каких-либо неприятностей для соответствующих потребителей. Он осуществляется либо путем отключения индивидуальных трансформаторов со стороны высокого напряжения соответствующими

масляниками либо отключая целое полунаправление распределительной сети высокого напряжения ее головным масляником в фидерном пункте, от шин которого она получает питание в нормальном режиме.

Подводя итоги, можно конкретизировать ниже следующие особые преимущества предлагаемой схемы модернизированной кабельной сети для питания коммунальных нагрузок перед всеми известными в настоящее время схемами (в том числе и замкнутой сеткой низкого напряжения).

Наряду с бесперебойностью электроснабжения, обеспечивающей подачу напряжения потребителям на низком напряжении при любых авариях, за исключением длительного металлического к. з. в магистралях низкого напряжения, предлагаемая схема обладает следующими качествами:

1. Она технически и экономически оправдывается при любых плотностях нагрузок, т. е. для городов и районов любого типа.

2. Ее применение возможно не только для кабельных, но и для воздушных сетей, что имеет особо актуальное значение для сравнительно не крупных городов Союза.

3. Одним из серьезных преимуществ предлагаемой схемы является ее гибкость, вполне допускающая подключение новых потребителей в любом месте, а также и легкая ее приспособляемость к условиям реконструкции уже работающих сетей.

4. Схема пригодна (вследствие применения аппаратуры, допускающей дистанционное управление) для питания уличного освещения, удовлетворяющего всем требованиям ПВО (независимо от общих требований, предъявляемых к схеме уличного освещения).

5. Вследствие принятой радиальной конфигурации фидерной сети низкого напряжения с автоматическим переключением питающих кабелей не только вполне воз-

можно, но всегда рекомендуется питание ее от любого числа генераторных станций или узловых подстанций, работающих как синхронно, так и несинхронно.

6. Достигается большая экономичность предлагаемых схем в отношении цветных металлов и в первую очередь в части кабелей высокого напряжения. Применение их, кроме того, стимулирует экономию электроэнергии в кабелях и трансформаторах за счет обязательности равномерного распределения нагрузок.

7. Необходимость для осуществления схемы только простейшего стандартизованного оборудования, вполне освоенного союзными заводами, обеспечивает возможность ее немедленного внедрения в жизнь.

8. Внедрение новой техники и в первую очередь вновь

осваиваемой аппаратуры может найти широкое применение в предлагаемой схеме; в первую очередь это относится к замене в ТП трансформаторных масляных «разъединителями мощности» и плавкими предохранителями высокого напряжения.

9. Исключительная простота эксплуатации, присущая всем радиальным схемам, является крупным ее достоинством; мало того, благодаря применению простейшей автоматизации эксплуатация даже при авариях будет в дальнейшем протекать совершенно спокойно.

Предлагаемые методы модернизации вполне соответствуют давно назревшей необходимости оборудования новых и реконструкции существующих крупных кабельных сетей Союза.

## Облегченные конструкции закрытых 100 kV распределительных устройств с безмасляной аппаратурой

SIMPLIFIED DESIGNS OF METAL-CLAD 100-kV SWITCHGEAR WITH OILLESS EQUIPMENT

Е. А. Бугрин

Мосэнерго

В ТЕЧЕНИЕ последних 10—15 лет распределительные устройства на напряжение 100 kV чаще всего выполнялись открытого типа, с расположением оборудования вне здания на открытом воздухе. Основным фактором, обусловившим широкое распространение открытых распределительных устройств высокого напряжения, — это стремление к удешевлению сооружений. Стоимость здания для 100-kV распределительных устройств составляет около 30—40% общей стоимости всего сооружения и отказ от постройки здания давал большую экономию. Однако возможность сооружения открытых устройств на это напряжение практически могла быть осуществлена лишь после получения от аппарато-строительных заводов электрооборудования, предназначенного для установки на открытом воздухе, с полной гарантией на надежную работу. В конструктивном отношении наибольшие затруднения при изготовлении оборудования для установки на открытом воздухе представляли выводные изоляторы трансформаторов и масляных выключателей.

Отказ от бумажных выводных изоляторов и изготовление их из фарфора с повышенной изоляцией, из условий надежной работы при сырой погоде, дали возможность получить аппаратуру, предназначенную для открытой установки и работающую не менее надежно, чем аппаратура, расположенная в закрытых помещениях.

Первые открытые распределительные устройства высокого напряжения были построены в Америке. Надежная их работа привела к широкому распространению подобных установок как в Америке, так и в Европе, и до последнего времени они почти полностью заменили закрытые конструкции.

В редких случаях по тем или другим местным причинам сооружались закрытые устройства.

К причинам быстрого распространения откры-

тых высоковольтных устройств надо добавить также и то обстоятельство, что раньше мощные станции чаще всего сооружались в местах добычи топлива, с передачей электроэнергии по высоковольтным сетям в города и промышленные районы. Эти районные или питательные станции располагались вдали от больших городов в благоприятных условиях выбора площадки для сооружений, где требования экономии места практически отсутствовали.

В последнее время благодаря появлению принципиально новых и более совершенных конструкций высоковольтного оборудования и в связи с сооружением теплоэлектроцентралей и высоковольтных подстанций в городах и промышленных районах намечается вполне определенная область, где наиболее целесообразными являются закрытые высоковольтные устройства.

При сооружении теплоэлектроцентралей и высоковольтных подстанций в центрах городов и в промышленных районах экономия территории становится одним из основных факторов, определяющих конструктивное выполнение всех сооружений. То обстоятельство, что закрытые распределительные устройства нуждаются в меньшей площади под сооружения может в этих случаях стать решающим для выбора типа устройств.

К теплоэлектроцентралям и высоковольтным подстанциям в последнее время предъявляются повышенные архитектурные требования с тем, чтобы они не нарушали общий вид правильно архитектурно-оформленного города. Эти требования в первую очередь предъявляются к зданиям электроцехов. Щиты управления, распределительные устройства и т. д., располагаются при общепринятых компоновках перед фасадом главного корпуса т. е. сбоку его. Практика проектирования показывает, что открытые устройства в смысле планировки менее всего пригодны для расположения со стороны главного фасада основных сооружений.

\* В порядке обсуждения. Ред.

Расположение же открытых устройств сзади главного корпуса тэц рядом с котельными, углеприготовительными и углетранспортными устройствами недопустимо, поэтому целесообразнее оставлять общепринятое расположение высоковольтных распределительных устройств со стороны основного фасада сооружений и приспособляться к архитектурным требованиям, выполняя устройства закрытого типа.

Закрытые устройства лучше изолированы от наружного загрязненного воздуха и менее подвержены неблагоприятным атмосферным условиям. В местностях, где воздух химически загрязнен или насыщен пылью, мелкими частицами (например золой и т. д.), закрытые конструкции дают лучшую эксплуатационную надежность. К открытым устройствам приходится в этих случаях предъявлять повышенные изоляционные требования и при всем этом их нельзя сравнить по надежности с закрытыми конструкциями.

С таким положением в части атмосферных условий приходится встречаться при расположении устройств рядом с химическими заводами или электростанциями, сжигающими угли с большим содержанием серы, золы и т. д. Газы и оседающие на аппаратуру летучие химические вещества и частицы от процессов неполного сгорания загрязняют и ухудшают ее изоляцию.

Из сказанного следует, что в настоящее время имеется вполне определенная область, где более целесообразны, а в некоторых случаях и обязательны высоковольтные устройства закрытого типа. Однако, как указано было выше, их распространение при использовании обычной масляной аппаратуры наталкивается на экономические затруднения.

В последнее время за границей сооружен ряд 100-kV устройств закрытого типа облегченной конструкции с установкой безмасляного оборудования. Безмасляная аппаратура представляет большой интерес, так как позволяет применять закрытый тип высоковольтных распределительных устройств, по своим капитальным затратам равноценный открытым конструкциям, во всех тех случаях, когда, по тем или другим причинам, возможность сооружения открытых распределительных устройств отпадает.

На рис. 1 дан поперечный разрез однорядного закрытого распределительного 100-kV устройства, сооружаемого в 1936 г. вблизи станции Чорневиц<sup>1</sup> и предназначенного для электроснабжения Среднегерманской области.

Конструкция — бескамерная с установкой экспансионных выключателей.

По эксплуатационным условиям применена тройная система сборных шин с установкой одного экспансионного выключателя на каждом присоединении.

Аппаратура размещается в два яруса. В первом ярусе устанавливаются экспансионные выключатели с воздушными приводами, новый комбинированный тип измерительных трансформаторов, у которых вместе в одном кожухе располагаются трансформаторы тока и напряжения, трансформаторы тока проходного типа, первая система

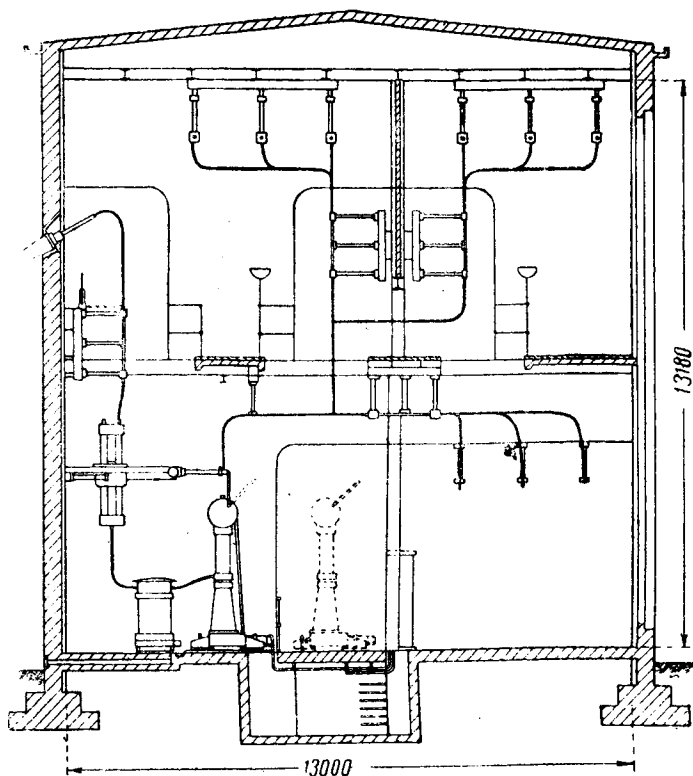


Рис. 1. Поперечный разрез 100-kV распределительного устройства с экспансионными выключателями станции Чорневиц

сборных шин со своими разъединителями, центральный оперативный коридор с вынесенными в него приводами выключателей и коридор для транспорта выключателей.

Оперативно-измерительные кабели прокладываются в кабельном полуэтаже. Во втором ярусе располагаются вторая и третья системы сборных шин со своими разъединителями, линейные выводы и линейные разъединители.

Здание более компактное по сравнению с распределительными устройствами, имеющими масляные выключатели: ширина — 13 м, высота — 13,8 м и длина при 10 экспансионных выключателях — 75 м. Оборудование расположено наглядно, и оно доступно для осмотра и производства ремонтных работ. Причины, которые побудили выполнить закрытую конструкцию, по указанию авторов проекта, заключались в том, что окружающая местность имеет сильно загрязненный воздух в результате сжигания низкосортных углей. Поэтому для открытой конструкции потребовалось бы установить оборудование с более повышенной изоляцией, что в экономическом отношении явилось бы менее выгодным, чем принятый вариант.

На рис. 2 и 3 приведены поперечные разрез двух типовых закрытых 100-kV распределительных устройств с экспансионными выключателями, получивших за последнее время в Германии распространение, особенно в местностях с воздухом, сильно загрязненным химически или механической смесью, или где существуют неблагоприятные атмосферные условия<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Siemens Zeitschrift № 11, ноябрь 1936 стр. 469

<sup>2</sup> ETZ № 27, стр. 766 и № 24, стр. 964, 1936.



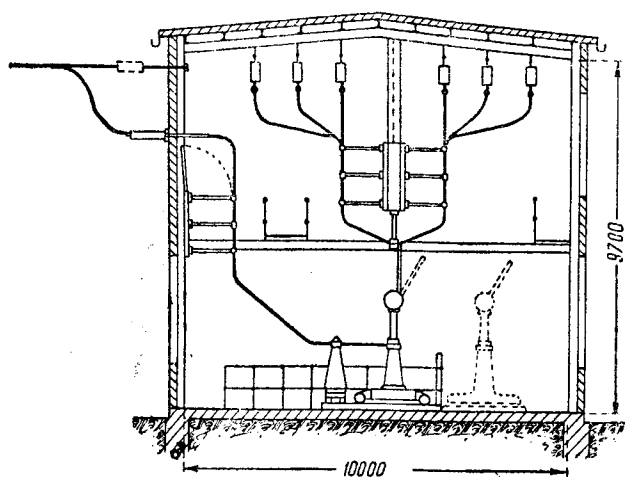


Рис. 2. Поперечный разрез 100-kV распределительного устройства с экспансионными выключателями и двухярусным расположением аппаратуры

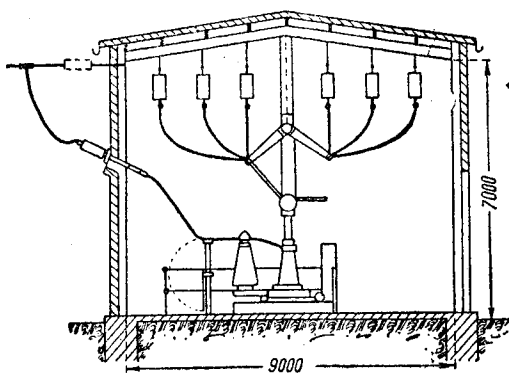


Рис. 3. Поперечный разрез 100-kV распределительного устройства со специальными экспансионными выключателями, имеющими двойные разъединительные штанги

Конструкция, показанная на рис. 2, с двухярусным расположением оборудования в основном одинакова с описанной выше (рис. 1) и примененной в электросети станции Чорневиц.

Конструкция рис. 3 отличается от предыдущей методом размещения аппаратуры и выполнена с одноярусным расположением. Это достигнуто в результате установки экспансионных выключателей, имеющих двойные разъединительные штанги, заменяющие шинные разъединители. В зависимости от надобности разъединительные штанги присоединяют выключатель к любой системе сборных шин. Одновременное включение обеих штанг допускается только при замкнутом шиносоединительном выключателе.

Благодаря специальной конструкции экспансионных выключателей уменьшается количество изоляторов, а следовательно, и возможность повреждения с ними.

При демонтаже выключателей разъединительные штанги, присоединяющие их к сборным шинам, убираются вместе с ними.

Распределительные 100-kV устройства закрытого типа с безмасляной аппаратурой экономичны и компактны. Они требуют лишь около 75% той площади, которая необходима для общепринятых конструкций с масляной аппаратурой. Объем зда-

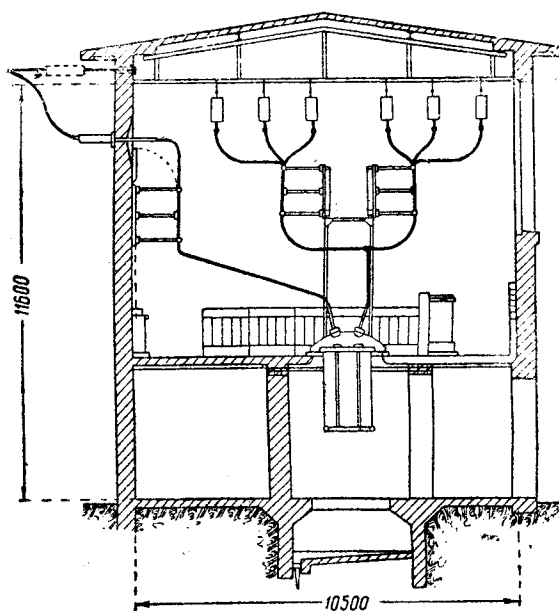


Рис. 4. Поперечный разрез двухэтажной камерной конструкции 100-kV распределительного устройства с подвесными масляными выключателями

ний этих устройств составляет лишь около 44–60% от объема, потребного для распространенных сейчас устройств.

Не менее важными преимуществами новых конструкций является простота обслуживания, наглядность в расположении оборудования, безопасность и лучшая эксплуатационная надежность.

Из одного центрального оперативного коридора персонал видит все основное электрооборудование, так как отсутствуют сплошные внутренние междуэтажные перекрытия и перегородки. Меньшее количество подвесных гирлянд, опорных изоляторов и шинной проводки и отсутствие проходных изоляторов, помимо увеличения эксплуатационной надежности, удешевляют стоимость сооружения и упрощают производство монтажных работ.

Для более наглядного сравнения новых облегченных распределительных 100-kV устройств с общепринятыми открытыми и закрытыми конструкциями с масляной аппаратурой ниже в таблице приведены ориентировочные основные показатели различных вариантов открытого и закрытого типов.

Закрытые 100-kV устройства с масляной аппаратурой камерной конструкции, объединенные в таблице в одной графе, по существу разделяются на два типа:

1. Двухэтажная камерная конструкция с расположением внутри отдельных изолированных взрывных камерах первого этажа масляных выключателей. Во втором этаже размещаются сборные шины, шинные и линейные разъединители.

2. Двухэтажная камерная конструкция с масляными выключателями подвесного типа (рис. 4). В изолированных взрывных камерах первого этажа размещаются баки подвесных масляных выключателей. Крышки выключателей находятся на уровне пола в общем помещении второго этажа, в котором располагаются сборные шины и разъединители.



Ориентировочная таблица показателей различных конструкций 100-kV распределительных устройств

Т и п	Размеры потребной площади				Размеры здания					Без основных железных конструкций, т	Ориентировочная стоимость сооружения в рублях					соотношение %		
	длина, м	ширина, м	площадь м <sup>2</sup>	соотношение, %	длина, м	ширина, м	высота, м	объем, м <sup>3</sup>	соотношение, %		строительная часть							
											здание, фундаменты и т. д.	железные конструкции	цпн	всего	% соотношений			
А. С масляной аппаратурой																		
1. Открытые конструкции																		
Высокий . . . . .	55	50	2750	71,5	—	—	—	—	—	—	60	85 000	60 000	145 000	10,1	2 100 000	2 245 000	61,5
Средний . . . . .	55	60	3300	85,5	—	—	—	—	—	—	45	90 000	45 000	135 000	9,3	2 100 000	2 235 000	61,2
Низкий . . . . .	55	70	3850	100	—	—	—	—	—	—	37	95 000	37 000	132 000	9,2	2 100 000	2 232 000	61,0
II. Закрытые конструкции																		
Камерная . . . . .	60	33	1980	51,4	60	23	23	19	26 220	100	—	1 442 000	—	1 442 000	100	2 200 000	3 642 000	100
Бескамерная . . . . .	60	33	1980	51,4	60	23	23	14	19 320	73,8	25	1 063 000	25 000	1 088 000	75,5	2 150 000	3 238 000	89
Б. С безмасляной аппаратурой																		
Закрытая бескамерная конструкция	60	30	1800	39,6	60	20	20	9,7	11 640	44,5	15	640 000	15 000	655 000	45,4	—	—	—

Преимущества второго варианта — хорошая видимость втулок масляных выключателей из одного центрального оперативного коридора второго этажа. Во втором этаже в одном общем светлом помещении наглядно располагается вся аппаратура, защищенная от газов и дыма, образующихся при взрыве масляных выключателей. К преимуществам второго же варианта также относится отсутствие проходных изоляторов, предназначенных для шинной проволоки, соединяющей разъединители с масляными выключателями.

При бескамерной конструкции в отдельных камерах устанавливаются лишь трансформаторы и их маслоохладительные устройства. Аппаратура размещается в три яруса: в первом — масляные выключатели, во втором — шинные разъединители и в третьем ярусе — сборные шины.

Бескамерная конструкция удешевляет здание.

Однако широкого применения она не получила, так как небольшой экономический эффект сопровождается уменьшением эксплуатационной надежности: при взрыве одного выключателя дым и копоть распространяются по всему зданию и загрязняют все оборудование. Кроме того, эта конструкция влечет за собой ряд неудобств эксплуатации, ухода и ремонта аппаратуры.

В прилагаемой таблице в виде примера взято 100-kV распределительное устройство с двумя системами сборных шин, имеющие две трансформаторные группы, две линии электропередачи, шиносоединительный масляный выключатель и две группы трансформаторов напряжения. Так как первые два варианта закрытых распределительных устройств с расположением масляных выключателей внутри взрывных камер и с подвесными масляными выключателями имеют почти одинаковые габаритные размеры, в таблице они объединены вместе.

Размеры зданий для вариантов закрытых распределительных устройств предусматривают помещения для установки высоковольтных трансформаторных групп с резервной фазой, регулировочных трансформаторов, помещений для маслоохладительной установки трансформаторов и для прокладки джемперных шин высокого и низкого напряжения. Поэтому приведенные габаритные размеры зданий для варианта с безмасляной аппаратурой превосходят габариты, указанные на рис. 1, 2 и 3, где предусмотрены помещения, необходимые только для распределительных устройств, без учета помещений для трансформаторов, их маслоохладительных устройств и т. д.

Для закрытых бескамерных конструкций с безмасляной аппаратурой приведена стоимость одного здания, так как стоимость нового оборудования в изготовлении наших заводов в настоящее время неизвестна. Сравнение распределительных устройств открытого и закрытого типа с масляной аппаратурой показывает, что удорожание закрытых конструкций по сравнению с открытыми имеет место за счет здания. Если принять стоимость оборудования для открытых и закрытых установок одинаковой, — это удорожание составит около 30—40%. В случае же установки на открытых распределительных устройствах специального оборудования с повышенной изоляцией удорожание закрытых конструкций умень-

шится. Площадь закрытых устройств меньше, чем для открытых, в среднем на 50—20%, в зависимости от типа их выполнения.

Размеры зданий распределительных устройств с безмасляной аппаратурой почти в два раза меньше по сравнению со зданиями для старых конструкций с масляной аппаратурой, к тому же они имеют облегченную конструкцию — нет перегородок и внутренних междуэтажных перекрытий.

Сравнение основных показателей старых и новых закрытых конструкций показывает экономичность и целесообразность применения последних во всех тех случаях, когда предъявляются требования расположения оборудования внутри зданий.

Можно ожидать, что стоимость нового безмасляного оборудования в изготовлении наших заводов будет не дороже оборудования, содержащего масла. Уменьшение же шинной проводки, подвесных и опорных изоляторов, а также отсутствие проходных изоляторов в новых бескамерных конструкциях дадут общую экономию в затратах на оборудование.

Область применения закрытых 100-kV распределительных устройств в СССР в третьей пятилетке значительно возрастет, поэтому необходимо нашим аппаратостроительным заводам приступить к изготовлению усовершенствованной безмасляной аппаратуры.

Запоздание в изготовлении высоковольтной безмасляной аппаратуры приведет к сооружению распределительных устройств устарелой конструкции и более дорогих, что вызовет перерасход больших средств.

На примере последних зарубежных усовершенствованных конструкций закрытых 100-kV распределительных устройств видна их целесообразность и необходимость осуществления; показателны их быстрое распространение и положительная оценка эксплуатационной надежности.

Все приведенные соображения о целесообразности применения облегченных закрытых распределительных устройств высокого напряжения с безмасляной аппаратурой целиком относятся и к распределительным устройствам более низких напряжений, например 30 kV.

## НОВОЕ В СОВЕТСКОМ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИИ

### Мощные синхронные турбомоторы завода „Электросила“ им. С. М. Кирова

LARGE SYNCHRONOUS TURBO-MOTORS OF „ELECTROSILA“ WORKS

Н. П. Иванов и М. Л. Брицын

Завод «Электросила» им. С. М. Кирова

**В** ПОСЛЕДНЕЕ время для нужд металлургической, машиностроительной, химической и других отраслей промышленности Советского союза все более и более широкое применение находят себе быстроходные турбовоздуховки (газоводушки) и турбокомпрессоры. Мощность, необходимая для привода таких машин, достигает нескольких тысяч киловатт в одном агрегате.

В целом ряде случаев выгодно использовать электрический привод. Турбовоздуховки и турбокомпрессоры строятся (по типу паровых турбин) на большое число оборотов — 3000 об/мин и выше. Естественно, возникает вопрос о применении быстроходных моторов для привода турбовоздуховок и турбокомпрессоров. В этом случае моторы называются турбомоторами и сопрягаются либо непосредственно либо через зубчатую передачу.

Ответственная задача подачи сжатого воздуха или иного газа требует осуществления особо надежного привода.

Заводом «Электросила» им. Кирова разработана оригинальная конструкция быстроходных асинхронных моторов с короткозамкнутым ротором, которая показала достаточную надежность работы. Эти моторы пригодны для вышеуказанных целей, но мощность их ограничена 1500 kW. Дальнейшее увеличение мощности лимитирует нагрев и прочность пусковой клетки, тепловая мощность которой с увеличением мощности привода растет медленнее, чем энергия, выделяемая в роторе при пуске.

Как известно, для тепловых станций, где первичными двигателями являются паровые турбины, генераторы осуществляются в виде неявнополюсных синхронных машин, так называемых турбогенераторов. Многолетняя эксплуатация многих электростанций показала полную надежность этих машин. Мощность турбогенераторов в одной единице в настоящее время лежит в диапазоне от 500 до 100 000 kW при 3000 об/мин.

Возникла чрезвычайно интересная и важная

проблема турбогенераторов в целях применения их для электропривода турбокомпрессоров. В результате ряда исследовательских работ на эту тему в середине 1936 г. были выпущены заводом первые синхронные турбомоторы мощностью 1200 kW, 3000 об/мин. В настоящее время синхронные турбомоторы находятся в эксплуатации и показали свои прекрасные качества надежного электропривода для турбокомпрессоров.

**Конструкция.** Известно, что все современные явнополюсные синхронные моторы имеют асинхронный запуск, для чего в полюсных наконечниках ротора укладывается специальная пусковая обмотка, подобно беличьей клетке асинхронного мотора с короткозамкнутым ротором. Пуск производится от полного или частичного напряжения, пониженного тем или иным способом. Асинхронный пуск прост и надежен в эксплуатации. Мотор легко трогается с места и самосинхронизируется.

Для синхронного турбомотора с неявно выраженными полюсами асинхронный запуск также является самым подходящим способом пуска. Поэтому при решении вопроса обратимости синхронного турбогенератора пришлось исследовать задачу его асинхронного пуска.

Ротор турбогенератора подобен массивному ротору асинхронного мотора. В самом начале пуска токи в роторе распределяются по поверхности, так как проникновение токов внутрь стальной бочки при частоте 50 Hz и близкой к ней невелико. Поверхностные токи текут в центральной части ротора параллельно оси его, замыкаясь по краям в тангенциальном направлении.

При наличии в массивном роторе пазов с металлическими клиньями эти клинья также являются проводниками токов по поверхности, причем в центре ротора токи текут вдоль клиньев, а по краям его поперек их, переходя от зубца к зубцу. Если по краям ротора насажены бандажи, часть аксиальных токов переходит через место насадки в бандажи и там замыкается в тангенциальном направлении.

По мере возрастания скорости ротора частота токов в бочке падает, и они глубже проникают в массив ротора.

В результате детальных исследований, произведенных на заводе, было установлено, что выполнение следующих условий дает возможность осуществить асинхронный пуск турбогенераторов:

а) отсутствие контакта между бочкой ротора и бандажами, что достигается креплением бандажей на центрирующем кольце;

б) клинья для удержания обмотки возбуждения должны точно пригоняться с боковым распором к стенкам паза ротора;

в) бандажи должны быть по возможности магнитными, тогда они возьмут на себя значительную часть пускового момента всего ротора.

Пусковые характеристики турбомотора подобны соответствующим характеристикам асинхронного мотора со сплошным ротором. Пусковой момент является в то же время и максимальным моментом. С уменьшением скольжения момент падает. Точно так же ведет себя и ток статора. Ниже будут приведены типичные кривые момента вращения и тока статора при асинхронном пуске.

**Ротор.** В отличие от известных нам исполнений

европейских фирм Сименс-Шуккерт и раньше Метро-Виккерс и американской фирмы GEC наши роторы не имеют специальной пусковой обмотки. Роль такой обмотки, как уже указывалось, выполняет массивная бочка ротора с клиньями и бандажи ротора, причем бандажи имеют самостоятельные контуры для замыкания токов. Металлического контакта между бочкой ротора и бандажами нет. Для надежной механической посадки бандажей и защиты лобовых частей от повреждений катушки обмотки возбуждения защищены алюминиевыми седлами.

Преимущества такой конструкции по сравнению с конструкциями, имеющими специальную пусковую обмотку, следующие:

1) большая надежность, так как исключены аварии в связи с поломкой или перегоранием пусковой обмотки;

2) степень использования модели в киловольтамперах та же, что в турбогенераторах, так как размещения в роторе особой демпферной обмотки не требуется;

3) конструкция лобовых частей (отставленные бандажи и седла) значительно повышает надежность ротора в отношении изоляции обмотки возбуждения;

4) меньше кратности тока в статоре при пуске;

5) тождественная конструкция и одинаковый технический процесс моторов и генераторов.

В настоящее время спроектирована серия синхронных турбомоторов, охватывающая мощности до 6000 kW, без демпферной обмотки с отставленными бандажами. Турбомоторы этой серии конструктивно и электрически объединены с серией турбогенераторов.

На рис. 1 изображен ротор турбомотора в новом исполнении после механической обработки. На переднем плане видна обработанная часть вала ротора — место будущей насадки центрирующего кольца бандажа.

Рис. 2 дает представление о роторе, готовом к насадке бандажей. Лобовые части плотно охвачены седлами, придающими обмотке механическую прочность и допускающими одностороннюю насадку бандажа на центрирующее кольцо с отставлением бандажа от края бочки ротора. Об-

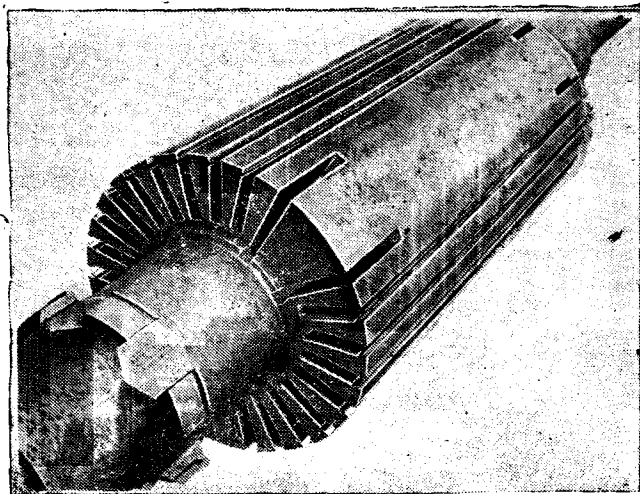


Рис. 1. Ротор турбомотора после механической обработки

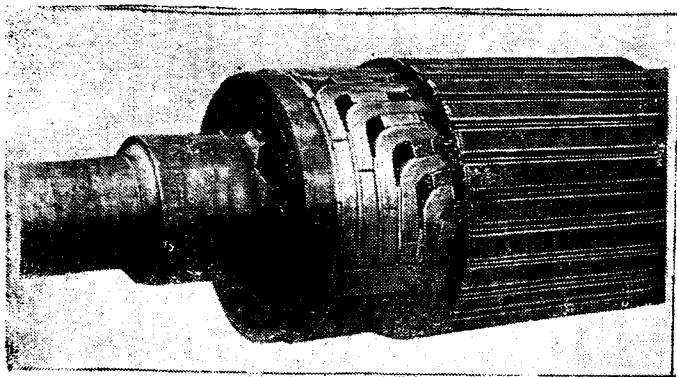


Рис. 2. Ротор турбомотора с алюминиевыми седлами (перед насадкой бандажей)

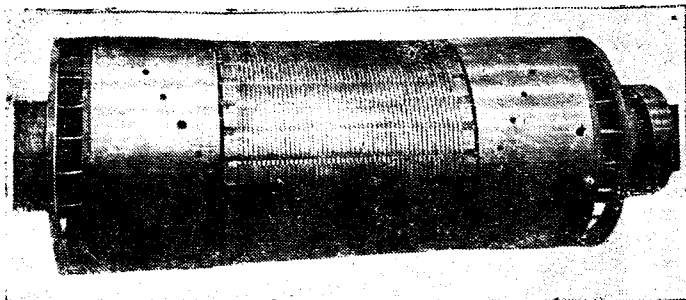


Рис. 3. Ротор турбомотора в собранном виде

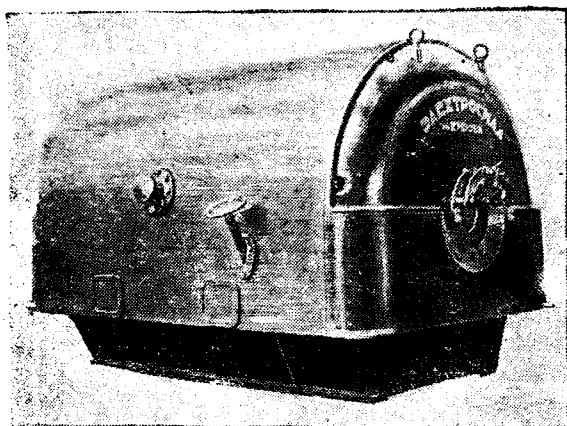


Рис. 4. Статор турбомотора типа СМ-6000-2

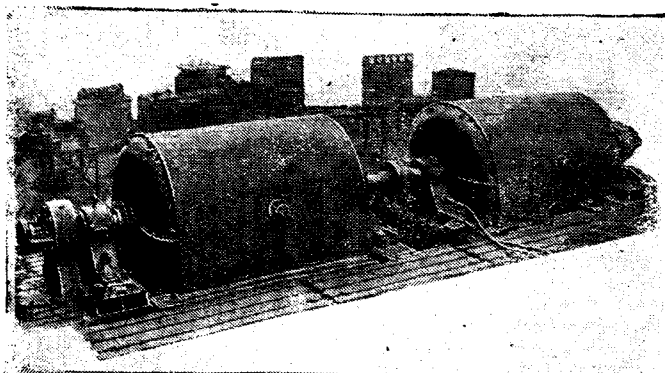


Рис. 5. Турбомотор СМ-6000-2 и турбогенератор Т2-6-2 на испытательном стенде

мотка ротора подвергается процессу многократной запечки как без седел, так и с седлами, превращает обмотку в прочный монолит.

На рис. 3 показан ротор в готовом виде. Вид отставленные от бочки бандажи; между бочкой бандажами имеется щель порядка 10 мм шириной. Вплотную к бандажам примыкают вентилеры.

В нескольких местах бандажи просверлены для лучшей вентиляции лобовых частей обмотки ротора. Бочка ротора зарифлена, что увеличивает поверхность охлаждения ротора и способствует снижению нагрева его обмотки.

Тщательная пригонка клиньев с боковым расщепом создает надежный контакт между клиньями зубцами ротора, тем самым предохраняя краевые бочки от сильного нагрева тангенциальными токами на поверхности ротора, появляющимися в время асинхронного запуска.

На один из концов вала ротора насаживается якорь возбуждателя. Другой конец вала снабжается полумуфтой для соединения с турбокомпрессором или воздуходувкой.

**Статор.** Корпус статора сварной, обычно применяемый в турбогенераторах. Обмотка статора также обычной для турбогенераторов конструкции. Надежное крепление лобовых частей, непрерывная изоляция микалентой по всей длине шаблонов дают уверенность в механической и электрической надежности обмотки.

Вентиляция моторов — радиальная одноструйная или двухструйная, в зависимости от величины мотора.

**Подшипники** турбомоторов обеспечены принудительной смазкой под давлением. Вкладыш имеет шаровую посадку, что способствует спокойной работе подшипников. Уплотнения надежной конструкции не допускают протекания наружу масла из подшипников.

**Внешнее оформление.** На обложке дан снимок синхронного турбомотора типа СМ-2000-2. Эта модель может рассматриваться как машина выпущенная в 1934—1935 гг.

На рис. 4 представлен статор мотора типа СМ-6000-2. На корпусе статора виден маховичок, соединенный с приспособлением для прекращения циркуляции воздуха, помещенным на выходе горячего воздуха. Поворотом маховичка заслонка приспособления закрывает выход воздуха, тем самым прекращается циркуляция воздуха в машине, что способствует прекращению пожаров, в случае его возникновения.

На рис. 5 показаны две машины на испытательном стенде завода. Одна из них — мотор типа СМ-6000-2, другая — генератор типа Т2-6-2. Конструктивно машины почти ничем друг от друга не отличаются.

Конструкция турбомоторов типа СМ-6000-2 (турбогенераторов типа Т2-6-2) дает представление о внешнем оформлении турбомашин 1936—1937 гг.

**Пусковые схемы и характеристики.** Как уже указывалось, пусковые характеристики турбомоторов соответствуют характеристикам сплошного ротора.

Влияние обмотки возбуждения невелико, особенно при магнитных бандажах.

На рис. 6 представлены кривые моментов вращения и тока статора при асинхронном пуске турбомоторов от полного напряжения.

Кривые даны для турбомотора типа СМ-2000-2. Однако сравнение пусковых данных других моторов показывает, что характеристики рис. 6 можно считать типичными.

Большой пусковой момент (порядка трехкратного) и приблизительно восьмикратный пусковой ток требуют понижения пускового напряжения.

Для первых синхронных турбомоторов принято два способа пуска от пониженного напряжения — через автотрансформатор или при помощи реактора.

В обоих случаях обмотка ротора турбомотора постоянно замкнута на якорь возбуждателя. Возможность пуска без разрядного сопротивления была выяснена на заводе в результате исследований по асинхронному запуску. В конце периода пуска ротор турбомотора автоматически входит в синхронизм и в роторной цепи устанавливается постоянный ток от возбуждателя. Замыкание обмотки ротора турбомотора непосредственно на якорь возбуждателя упрощает пусковую схему, особенно при автоматическом пуске, так как отпадает надобность в ряде сложных реле роторной цепи.

Указанные два способа пуска дают несколько различные кривые пусковых моментов и токов в зависимости от скольжения.

На рис. 7 показаны пусковые кривые обоих способов пуска для турбомотора типа СМ-2000-2. Номинальная мощность принята равной 1500 кВт при опережающем  $\cos \varphi = 0,8$ , что при напряжении 6000 В дает номинальный ток статора 196 А.

Пусковое напряжение принято для автотрансформаторного пуска равным 50% номинального, для реакторного — 40%.

Кривая 5 на этом рисунке представляет момент сопротивления турбокомпрессора или воздушодувки при пуске с закрытым шибером.

В нижеследующей таблице даны характерные величины (в процентах от своих номинальных значений) для обоих способов пуска.

Способ пуска	Пусковое напряжение, %	Пусковой ток, %		Пусковой момент, %	Входной момент, %
		в цепи мотора	в цепи		
Автотрансформаторный . .	50	420	210	75	45
Реакторный . . . . .	40	330	330	50	70

Автотрансформаторный пуск имеет меньшую кратность пускового тока сети, но также и меньший момент при входе в синхронизм. Реакторному пуску соответствует большая кратность пускового тока и вместе с тем больший входной момент. Кривая момента вращения при пуске через реактор более благоприятна для воздушодувных машин.

В тех случаях, когда мощная сеть позволяет осуществить пуск с кратностью тока более, чем 300%, — следует предпочесть реакторный пуск как более простой и удобный.

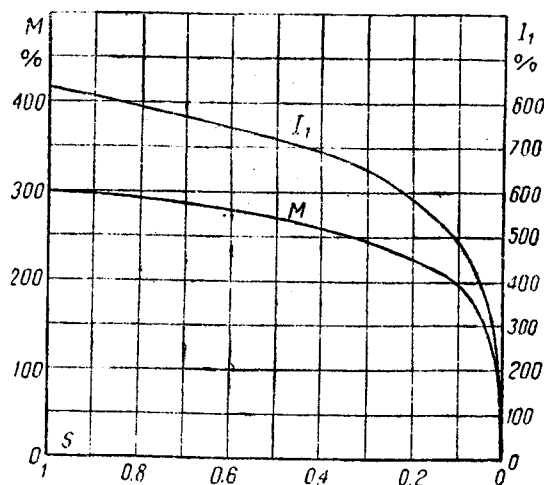


Рис. 6. Пусковые характеристики турбомотора типа СМ-2000-2 при пуске его от напряжения, равного  $U_n$ .  $M$  — момент вращения и  $I_1$  — ток статора, в процентах от своих номинальных значений в зависимости от скольжения  $s$

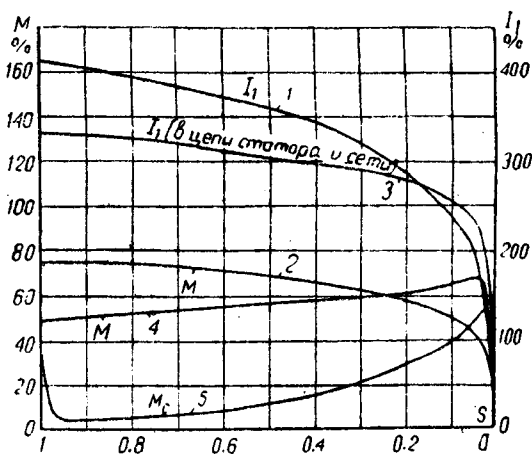


Рис. 7. Пусковые характеристики в зависимости от скольжения  $s$  турбомотора СМ-2000-2 при пуске его от пониженного напряжения

1 и 2 — ток статора и момент вращения в процентах от своих номинальных значений при автотрансформаторном пуске от 50%  $U_n$ ; 3 и 4 — то же, но при реакторном пуске от 40%  $U_n$ ; 5 — момент сопротивления турбокомпрессора или воздушодувки при пуске с закрытым шибером

На рис. 8 дана осциллограмма для турбомотора СМ-2000-2, снятая при пуске через автотрансформатор в условиях эксплуатации на одном из рудников Криворожского бассейна.

Пуск продолжается 51 сек. Интересно отметить некоторые моменты его:

1) от 0 до 30,5 сек — асинхронное вращение при 50% номинального напряжения; через 30,5 сек после начала пуска происходит втягивание мотора в синхронизм;

2) от 30,5 до 47,8 сек — синхронное вращение 17,3 сек; соответствующей установкой реле можно свести этот промежуток к меньшему времени;

3) от 47,8 до 48,5 сек — размыкание, нуля автотрансформатора и работа последнего в качестве реактора в течение 0,7 сек;

4) от 48,5 до 51 сек после включения шунтирующего масляника в течение 2,5 сек устанавливается режим мотора при полном напряжении.

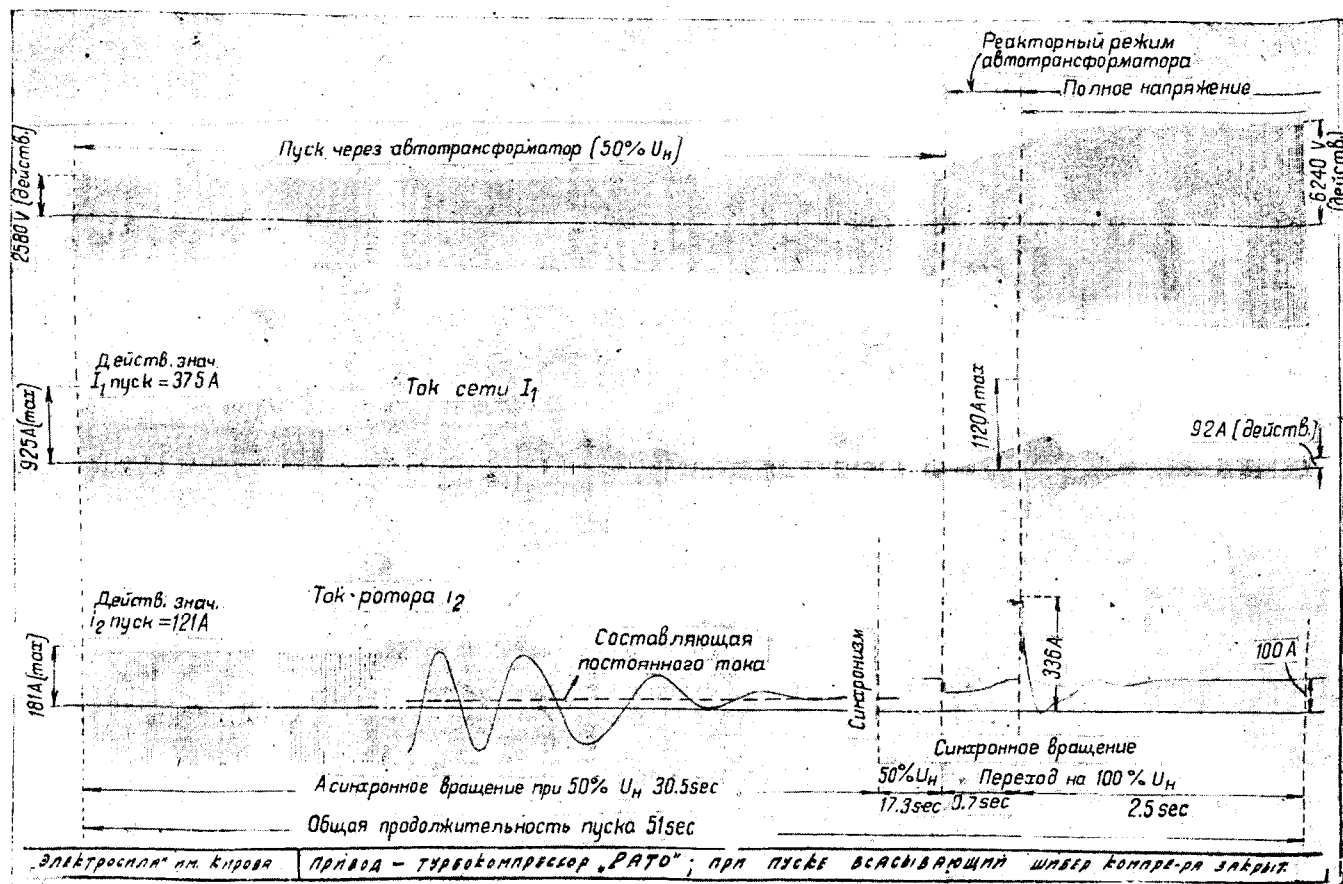


Рис. 8. Осциллограмма пуска турбомотора типа СМ-2000-2 от автотрансформатора

Ток ротора в начале пуска имеет частоту скольжения, как и в обыкновенном асинхронном моторе.

В дальнейшем по мере разворачивания мотора и уменьшения скольжения ротора переменный ток постепенно уменьшает свою частоту, одновременно убывая и по величине. Но так как обмотка ротора постоянно присоединена к якору возбуждателя, — с определенного момента времени начинает появляться постоянная составляющая роторного тока, увеличивающаяся по мере возрастания числа оборотов. К моменту втягивания в синхронизм переменная составляющая пропадает, постоянная составляющая достигает величины обусловленной положением ручки шунтового регулятора в цепи обмотки возбуждения возбуждателя.

В этом особенность пусковой схемы синхронных турбомоторов, принятой заводом «Электросила» им. Кирова. В настоящее время длительно работают несколько подобных моторов. Отзывы, полученные с мест, дают основание утверждать о высокой надежности моторов и принятой схемы пуска.

В настоящее время построены четыре типа турбомоторов мощностью от 1000 до 6000 kW. Данные моторов приведены ниже в таблице.

Тип	Мощность kW	Cos $\varphi$	К. п. д.	Напряжение V	Ток статора A
СМ-1500-2	1000	0,8 (опереж.)	0,92	6000 3000	131 262
СМ-2000-2	1500	0,8 (опереж.)	0,93	6000 3000	196 392
СМ-3000-2	2500	0,8 (опереж.)	0,94	6000 3000	320 640
СМ-6000-2	5000	0,8 (опереж.)	0,95	6000 3000	635 1270

В каждом отдельном случае выполнения мотора мощность и cos  $\varphi$  устанавливаются окончательно в соответствии с мощностью, потребляемой воздушной или компрессором, желанием получить тот или иной cos  $\varphi$  мотора в режиме перевозбуждения и прочими условиями эксплуатации.

Тип СМ-6000-2 не является предельным габаритом турбомоторов. Могут быть созданы синхронные турбомоторы и большей мощности.

Способ пуска для всех типов одинаков — асинхронный с самосинхронизацией.



# ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВЕ

## О системе заземлений в электросетях низкого напряжения

CHOISE OF ANEUTRAL-EARTHING SYSTEM FOR LOW-VOLTAGE NETWORKS

И. М. Сирота

Киевэнерго

**Н**АРЯДУ с достаточной ясностью, существующей в настоящее время по вопросу о заземлениях в установках высокого напряжения, вопрос о защитных заземлениях в электрических сетях низкого напряжения, питаемых от сетей высокого напряжения, еще не может считаться окончательно разрешенным, несмотря на то, что он неоднократно ставился на обсуждение в литературе последних лет. Это положение приводит к тому, что отдельные организации часто, в совершенно одинаковых условиях, разрешают задачу по-разному. Даже по такому основному вопросу, как способ заземления нейтрали в трансформаторных пунктах, мнения также расходятся. Хотя в большинстве наших сетей 220/127 В нейтраль заземляется через пробивной предохранитель, имеются организации, заземляющие нейтраль наглухо.

Интересно отметить правила американского<sup>1</sup> «Кодекса о безопасности электрических установок», согласно которым необходимость заземления нейтрали рассматривается, главным образом, с точки зрения возможности перехода высокого напряжения в сеть низкого напряжения. В сетях низкого напряжения, связанных с сетями высокого напряжения, при напряжении относительно земли, не превосходящем 150 В, предписывается глухое заземление нейтрали. При более высоких напряжениях глухое заземление нейтрали не требуется на том основании, что напряжение сети и в нормальных условиях уже считается жизнеопасным. В этих случаях основное внимание уделяется надежной изоляции и ограждениям токоведущих частей. Аналогичные правила приняты во Франции. Очевидно, эти правила прямо противоположны указаниям наших, а также и германских, правил и норм, согласно которым глухое заземление нейтрали обязательно при линейном напряжении больше 250 В (иначе установка классифицируется, как высоковольтная) и необязательно при меньших напряжениях.

Актуальность вопроса о защитных заземлениях подтверждается большим количеством несчастных случаев<sup>2</sup> с людьми, имеющих место на установках низкого напряжения, значительная часть которых является следствием неправильного устройства защитных заземлений.

Основным фактором, определяющим безопасность установки низкого напряжения, следует

считать напряжение прикосновения к токоведущей части или к металлической конструкции, равное полному падению напряжения от точки прикосновения до земли. Введение снижающих коэффициентов, учитывающих распределение потенциала вокруг заземляющего контура, в большинстве случаев неприемлемо, так как установки низкого напряжения характеризуются разветвленной сетью, и опасное прикосновение может иметь место вдали от заземляющего контура.

Исключением могут быть только те случаи, когда вблизи от места опасности предусматривается заземляющий контур особой формы, обеспечивающей плавное спадание потенциала.

В сводной таблице даны формулы для напряжения прикосновения для различных систем заземлений при нормальном и четырех аварийных режимах работы.

В той же таблице приведены принятые обозначения для напряжений, токов, сопротивлений и реактанцев.

Необходимо иметь в виду, что реактанц нулевой последовательности трансформаторов  $X_{m0}$  при стандартной схеме соединения обмоток  $\Delta/\Delta_0$  значительно превышает номинальный реактанс  $X_m$ . По данным Городского<sup>3</sup>

$$X_{m0} = \frac{X_m}{2} (30 \div 50)\%.$$

Реактанцы нулевой последовательности линий  $X_{\phi,3}$  и  $X_{\phi,0}$  также отличаются от рабочего реактанца.

**Нормальный режим работы.** Определим ток через тело человека при прикосновении к токоведущей части в сетях с изолированной нейтралью.

Если принять полное сопротивление каждого фазного или нулевого провода относительно земли равным  $Z$  и предположить прикосновение к первой фазе (рис. 1), то можно написать следующие уравнения:

$$\dot{U}_{\phi}'' - i' Z_1 - i_0 Z = 0;$$

$$a^2 \dot{U}_{\phi}'' - i'' Z - i_0 Z = 0;$$

$$a \dot{U}_{\phi}'' - i''' Z - i_0 Z = 0.$$

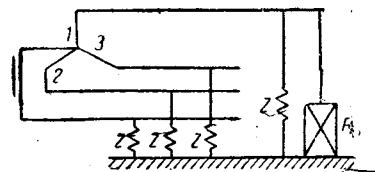


Рис. 1

Здесь:  $Z_1$  — общее сопротивление человеческого тела, изоляции и емкости первой фазы:

$$Z_1 = \frac{Z R_h}{Z + R_h},$$

<sup>1</sup> Пресс, Электрические установки.

<sup>2</sup> Число несчастных случаев со смертельным исходом на установках низкого напряжения системы Главэнерго за 1934 г. составляло 5,97% от общего числа смертельных случаев во всей промышленности (см. «Электричество» № 8, 1936, статья Хавиша).

<sup>3</sup> Городский, Расчет токов к. з. методом симметричных составляющих, 1935 г.



Сводная таблица расчетных формул для определ

№ п/п	Расчетный случай	Схема	Режим а: нормальная работа
1	Заземление нейтрали через пробивной предохранитель на отдельный контур		Кабельная сеть: $I_h = 2U''_{\phi} \sqrt{\frac{1 + (\omega cr)^2}{(4R_h + r)^2 + (4\omega cr R_h)^2}}$ Воздушная сеть: $I_h = U''_{\phi} \frac{4}{4R_h + r}$
2	Глухое заземление нейтрали на отдельный контур  Зануление неполное Повторных заземлений нет		$U''_{m\phi} = U''_{\phi}$
3	Глухое заземление нейтрали на отдельный контур  Зануление неполное Имеются повторные заземления		$U''_{m\phi} = U''_{\phi}$
4	Глухое заземление нейтрали на отдельный контур Зануление полное Повторных заземлений нет		$U''_{m\phi} = U''_{\phi}$
5	Глухое заземление нейтрали на отдельный контур  Зануление полное Имеются повторные заземления		$U''_{m\phi} = U''_{\phi}$
6	Заземление нейтрали через пробивной предохранитель на общий контур		Кабельная сеть: $I_h = 2U''_{\phi} \sqrt{\frac{1 + (\omega cr)^2}{(4R_h + r)^2 + (4\omega cr R_h)^2}}$ Воздушная сеть: $I_h = U''_{\phi} \frac{4}{4R_h + r}$
7	Глухое заземление нейтрали на общий контур  Зануление неполное Повторных заземлений нет		$U''_{m\phi} = U''_{\phi}$

ния напряжения прикосновения в различных случаях

Режим 6: замыкание на землю в сети низкого напряжения	Режим 6: замыкание на землю в сети высокого напря- жения	Режим 2: переход высокого напряжения на низкое
$U''_{m\phi} = \sqrt{3} U''_{\phi}$ $U'' = 0,87 U''_{\phi} \frac{R''_3}{\sqrt{(X_m + X_{\phi})^2 (R_{\phi} + R''_3)^2}}$	—	$U''_{m\phi} = I'_c (R_{\phi} + R''_3) + \sqrt{3} U''_{\phi}$ <p>или <math>U''_{m\phi} = I'_c R_1 + U''_{\phi}</math></p> $U'' = I'_c (R_{\phi} + R''_3) + U''_{\phi}$ <p>или <math>U'' = I'_c R_1</math></p>
$U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_3'^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_1 + R''_3)^2}}$ <p>или</p> $U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_1^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_1 + R''_3)^2}}$ <p>а также формула для случая 4</p>	—	$U''_{m\phi} = I'_c R_1 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c \frac{R_1 R''_3}{R_1 + R''_3}$
$U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_3'^2 + X_{\phi 3}^2 \frac{1}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_3 + R''_3)^2}}$ <p>или</p> $U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_3^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_3 + R''_3)^2}}$ <p>а также формулы для случая 5</p>	—	$U''_{m\phi} = I'_c R_3 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R'_3$ <p>(с учетом защитного заземления <math>R''_3</math>)</p>
$U'' = 3U''_{\phi} \sqrt{\frac{R_0^2 + \frac{1}{4} X_{\phi 0}^2}{(X_{m0} + X_{\phi 0} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_0)^2}}$	—	$U''_{m\phi} = I'_c R_1 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R_1$
$U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_3^2 + X_{\phi 0}^2 \frac{1}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 0} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R'_3 + R''_3)^2}}$ <p>или</p> $U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_3'^2 + X_{\phi 0}^2 \frac{1}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 0} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R'_3 + R''_3)^2}}$	—	$U''_{m\phi} = I'_c R_3 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R_3$
$U''_{m\phi} = \sqrt{3} U''_{\phi}$ $U'' = 0,87 U''_{\phi} \frac{R''_3}{\sqrt{(X_m + X_{\phi})^2 (R_{\phi} + R''_3)^2}}$	—	$U''_{m\phi} = I'_c (R_{\phi} + R''_3) + \sqrt{3} U''_{\phi}$ <p>или <math>U''_{m\phi} = I'_c R_1 + U''_{\phi}</math></p> $U'' = I'_c (R_{\phi} + R''_3) + U''_{\phi}$ <p>или <math>U'' = I'_c R_1</math></p>
$U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_3'^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_1 + R''_3)^2}}$ <p>или</p> $U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_1^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_1 + R''_3)^2}}$ <p>а также формула для случая 4</p>	$U''_{m\phi} = I'_c R_1 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c \frac{R_1 R''_3}{R_1 + R''_3}$	$U''_{m\phi} = I'_c R_1 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c \frac{R_1 R''_3}{R_1 + R''_3}$

№ п/п	Расчетный случай	Схема	Режим $\alpha$ : нормальная работа
8	Глухое заземление нейтрали на общий контур  Зануление неполное Имеются повторные заземления		$U''_{ma} = U''_{\phi}$
9	Глухое заземление нейтрали на общий контур. Зануление полное. Повторных заземлений нет		$U''_{ma} = U''_{\phi}$
10	Глухое заземление нейтрали на общий контур  Зануление полное. Имеются повторные заземления		$U''_{ma} = U''_{\phi}$

Обозначения:  $U'_{\phi}$  — фазное напряжение высоковольтной стороны трансформатора;  $U''_{\phi}$  — фазное напряжение низковольтной стороны трансформатора;  $R_h$  — сопротивление человеческого тела;  $R_{\phi}$ ,  $X_{\phi}$  — омическое и индуктивное рабочие сопротивления проводов;  $R_0$ ,  $X_0$  — омическое и индуктивное сопротивления нулевого провода от трансформатора до места замыкания на землю (можно принять  $X_0 = \frac{X_{\phi 0}}{2}$ ) установки низкого напряжения;  $R_1$  — сопротивление заземления нейтрали трансформатора;  $R_2$  — сопротивление повторного заземления;  $X_m$ ,  $X_{m0}$  — индуктивные сопротивления фазных и нулевого проводов низкого напряжения;  $I'_c$  — ток замыкания на землю в сети высокого напряжения;  $I'$ ,  $I''$ ,  $I'''$  — аварийные токи фазных проводов низкого напряжения.

Следовательно,

$$I' + I'' + I''' = I_0 = \frac{U'_{\phi}}{Z_1} + \frac{a^2 U''_{\phi} + a U''_{\phi}}{Z} - I_0 \frac{Z + 2Z_1}{Z_1};$$

$$I_0 \frac{Z + 3Z_1}{Z_1} = U''_{\phi} \frac{Z - Z_1}{ZZ_1}.$$

Ток в нулевом проводе

$$I_0 = U''_{\phi} \frac{Z - Z_1}{Z^2 + 3ZZ_1}.$$

Ток в первой фазе

$$I' = \frac{U'_{\phi} - I_0 Z}{Z_1} = U''_{\phi} \left( \frac{1}{Z_1} - \frac{Z - Z_1}{ZZ_1 + 3Z^2_1} \right) = U''_{\phi} \frac{4}{Z + 3Z_1}.$$

Или подставляя значение  $Z_1$ ,

$$I' = U''_{\phi} \frac{4(Z + R_h)}{4ZR_h + Z^2}.$$

Из этого выражения можно определить ток, проходящий через тело человека:

$$I_h = I' \frac{Z}{R_h + Z} = U''_{\phi} \frac{4}{4R_h + Z}.$$

В случае кабельной сети

$$I_h = U''_{\phi} \frac{4(1 + j\omega cr)}{4R_h(1 + j\omega cr) + r} =$$

$$= U''_{\phi} \frac{4(1 + j\omega cr)}{4R_h + r + j\omega cr R_h}.$$

Для воздушной сети<sup>4</sup>

$$I_h = U''_{\phi} \frac{4}{4R_h + r}.$$

По действующим нормам наименьшее сопротивление изоляции проводов<sup>1</sup>

$$r = \frac{1500 \cdot 1,73}{nP} U''_{\phi},$$

где  $n$  — число групп приемников на 1 kVA и  $P$  — мощность трансформатора (kVA).

Примем, преуменьшая опасность при изолированной нейтрали, двукратное значение сопротивления изоляции. Пусть  $n = 5$ ,

$$P = 180 \text{ и } U''_{\phi} = 127 \text{ В, тогда:}$$

$$r = 2 \frac{1500 \cdot 1,73 \cdot 127}{5 \cdot 180} = 733 \text{ }\Omega.$$

Во многих случаях это сопротивление будет меньше. Принимая наименьшее практически встречающееся сопротивление человеческого тела равным 1000  $\Omega$ , находим ток через тело человека

<sup>4</sup> Проф. С. А. Пресс в цитируемой выше работе дает формулу:

$I_h = \frac{3U''_{\phi}}{3R_h + r}$ . В этой формуле не учитывается влияние проводимости между нулевым проводом и землей, имеющее место при смешанной или осветительной нагрузке, а также емкости — в случае кабельной сети.

Режим 6: замыкание на землю в сети низкого напряжения	Режим 6: замыкание на землю в сети высокого напряжения	Режим 2: переход высокого напряжения на низкое
$U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_s'^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_s + R_s'')^2}}$ <p>или</p> $U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_s'^2 + \frac{X_{\phi 3}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 3} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_s + R_s'')^2}},$ <p>а также формулы для случая 10</p>	$U''_{m8} = I'_c R_s + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R'_s$ <p>(с учетом защитного заземления <math>R''_3</math>)</p>	$U''_{m8} = I'_c R_s + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R'_s$ <p>(с учетом защитного заземления <math>R''_3</math>)</p>
$U'' = 3U''_{\phi} \sqrt{\frac{R_0^2 + \frac{1}{4} X_{\phi 0}^2}{(X_{m0} + X_{\phi 0} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R_0)^2}}$	$U''_{m8} = I'_c R_1 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R_1$	$U''_{m8} = I'_c R_1 + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R_1$
$U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_s'^2 + \frac{X_{\phi 0}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 0} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + (R_{\phi} + R'_s + R''_s)^2}}$ <p>или</p> $U'' = U''_{\phi} \frac{3 \sqrt{R_s'^2 + \frac{X_{\phi 0}^2}{16}}}{\sqrt{(X_{m0} + X_{\phi 0} + 2X_m + 2X_{\phi})^2 + 9(R_{\phi} + R'_s + R''_s)^2}}$	$U''_{m8} = I'_c R_s + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R_s$	$U''_{m8} = I'_c R_s + U''_{\phi}$ $U'' = I'_c R_s$

форматора при холостом ходе;  $U''$  — напряжение прикосновения к металлическим частям, нормально не находящимся под напряжением;  $U''_{m8}$  — на-  
 фазного провода;  $X_{\phi 3}$ ,  $X_{\phi 0}$  — индуктивное сопротивление нулевой последовательности петли фазный провод — земля или фазный провод — нулевой

$R'_s$  — сопротивление защитного заземления стороны высокого напряжения трансформаторной подстанции;  $R''_3$  — сопротивление защитного заземления  
 реактивные сопротивления трансформатора прямой и нулевой последовательностей;  $Z$ ,  $r$ ,  $\frac{1}{\omega c}$  — сопротивления изоляции и емкости между проводом  
 пражения;  $I_0$  — аварийный ток нулевого провода;  $I_h$  — ток, проходящий через тело человека.

при изолированной нейтрали и воздушной про-  
 водке:

$$I_h = U''_{\phi} \frac{4}{4R_h + r} = 127 \frac{4}{4 \cdot 1000 + 733} = 0,107 \text{ А.}$$

В случае глухозаземленной нейтрали

$$I_h = \frac{U''_{\phi}}{R_h} = \frac{127}{1000} = 0,127 \text{ А.}$$

Разница между токами в обоих вариантах не-  
 существенна, так как прикосновение к токоведущим частям в обоих случаях будет одинаково и безусловно жизнеопасным.

Более актуально сравнение при таком сопро-  
 твлении  $R_h$ , когда прикосновение при заземлен-  
 ной нейтрали сопровождается прохождением  
 тока, находящегося на пределе опасности ( $I_h =$   
 $= 0,05 \text{ А}$ ). Соответствующее ему

$$R_h = \frac{127}{0,05} = 2540 \text{ }\Omega$$

и ток при изолированной нейтрали

$$I_h = \frac{4 \cdot 127}{4 \cdot 2540 + 733} = 0,0466 \text{ А,}$$

что всего лишь на 6% меньше, чем при зазем-  
 ленной нейтрали.

В обычной практике сопротивления изоляции  
 разных фаз не равны между собою, как было при-  
 нято выше, что вызывает увеличение тока при  
 изолированной нейтрали<sup>5</sup>.

Необходимо также иметь в виду постепенное  
 ухудшение изоляции нулевых проводов и то, что  
 в кабельных сетях ток значительно больше, чем  
 в воздушных.

Изложенное позволяет признать опасность  
 прикосновения к токоведущим частям при нор-  
 мальной работе в лучшем случае одинаковой, а  
 в некоторых случаях даже большей в сетях с  
 изолированной нейтралью, чем в глухозаземлен-  
 ных. В дальнейшем мы условно считаем обе ос-  
 новные системы равноценными при данном ре-  
 жиме.

При одновременном замыкании на металл двух  
 фаз в разных точках сети прикосновение к кон-  
 структивным частям также опасно. При выводе  
 формулы для  $U''$  сопротивления обоих защитных  
 заземлений приняты равными  $R'_s$ .

В случаях 2, 7 ток в земле, как известно,  
 равен:

$$i_s = \frac{3U''_{\phi}}{Z_0 + Z_I + Z_{II} + 3R},$$

где  $Z_0$ ,  $Z_I$ ,  $Z_{II}$  — сопротивления трех последова-  
 тельностей,  $R$  — сопротивление нейтрали и точки  
 замыкания на землю.

При замыкании на зануленную часть напря-  
 жение прикосновения к металлическим конструк-  
 циям будет различным в зависимости от прикос-  
 новения к зануленной или к зануленной части  
 (рис. 2).

<sup>5</sup> „Электричество“ № 4, 1927, статья Подольского.

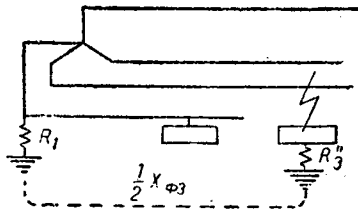


Рис. 2

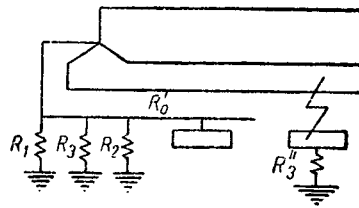


Рис. 3

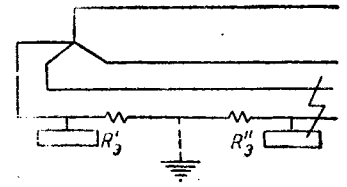


Рис. 4

Вообще в этих случаях необходимо производить проверку по обеим формулам. При замыкании на зануленную часть данные случаи сводятся к случаям 4, 9. Следовательно, проверка напряжения прикосновения должна быть произведена также и по формулам для этих случаев.

В случаях 3, 8 первичный заземляющий контур шунтируется одним или несколькими контурами повторного заземления (рис. 3).

Если замыкание имеет место на зануленном металлическом предмете, то данные расчетные случаи сводятся к случаям 5, 10 и, следовательно, проверка напряжения прикосновения должна быть произведена также и по формулам, выведенным для этих последних случаев.

В случаях 5, 10, когда, кроме основного заземления, имеется несколько повторных, при полном занулении всех установок, требующих защитных мероприятий, на способ вычисления следует обратить особое внимание, так как часто расчет производится неправильно.

В качестве рационального способа можно предложить следующий: все сопротивления заземлений и нулевого провода приводятся к схеме, изображенной на эскизе (рис. 4), с заземлением в одной точке с сопротивлением, равным нулю, и с двумя эквивалентными сопротивлениями  $R'_s$  и  $R''_s$  от начала и от конца сети до этого заземления.

Для подобной схемы напряжение прикосновения к зануленным предметам в начале сети равно потере напряжения в сопротивлении  $R'_s + \frac{X_{\phi 0}}{4}$ , а в конце сети — потере напряжения в сопротивлении  $R''_s + \frac{X_{\phi 0}}{4}$ .

Ниже производится определение эквивалентных сопротивлений для основных вариантов, встречающихся на практике.

Рассмотрим случаи одного повторного заземления (рис. 5).

**Замыкание на землю в сети низкого напряжения.** Сравнение различных систем заземления необходимо производить при полных аварийных токах. Ориентироваться на номинальные токи защитной аппаратуры нерационально, так как величина этих токов не связана с тем или иным способом заземления, поэтому выбор их в качестве отправных привел бы к неправильным заключениям о сравнительной опасности установок. Что касается выбора того или иного тока для конкретных расчетов заземлений, то и здесь правильное вопрееки указаниям проекта правил устройства заземлений<sup>6</sup> принимать полный аварий-

ный ток, руководствуясь следующими соображениями.

В установках низкого напряжения практически мало вероятно длительное прохождение ограниченных токов, так как большинство аварий начинается сразу с металлического замыкания или быстро переходит в него. Напряжение прикосновения при полных аварийных токах значительно превосходит напряжение прикосновения при ограниченных токах. Несмотря на кратковременность полных токов (0,1—0,2 сек), этого времени вполне достаточно для нанесения тяжелых потрясений человеческому организму. С другой стороны, вероятность попадания под напряжение весьма велика в случае постоянного соприкосновения большого числа людей с металлическими предметами, находящимися вблизи от токоведущих частей (например с обрабатывающими станками), а также в связи с большим распространением преднамеренных или длительных случайных занулений.

В случаях 1, 6 прикосновение к фазному проводу во время замыкания на землю другой фазы ставит человека под полное линейное напряжение  $U''_{ms} = \sqrt{3} U_{\phi}$ .

Вероятность такого случая в сетях с изолированной нейтралью весьма велика, так как однополюсное замыкание может существовать длительное время, в особенности при питании от необслуживаемых подстанций.

Если замыкание на железо произошло между трансформаторным пунктом и повторным заземлением (рис. 5), то эквивалентные сопротивления равны:

$$R'_s = \frac{R_0 R_1}{R_1 + R'_0 + R_2};$$

$$R''_s = \frac{R_0 (R_2 + R'_0)}{R_1 + R'_0 + R_2}.$$

Если замыкание имеет место за повторным заземлением (рис. 6), то эквивалентные сопротивления будут:

$$R'_s = \frac{R'_0 R_1}{R_1 + R'_0 + R_2};$$

$$R''_s = \frac{R'_0 R_2}{R_1 + R'_0 + R_2} + R''_0.$$

Сравнивая между собой последние формулы, можно видеть, что оба сопротивления будут больше при замыкании на землю за повторным заземлением. Следовательно, напряжения прикосновения к металлическим частям будут наибольшими при замыканиях на землю в наиболее удаленных точках сети.

<sup>6</sup> „Электричество“ № 9, 1931.

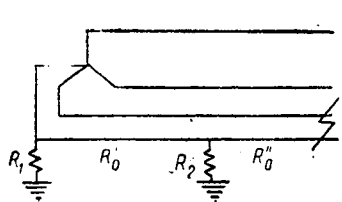


Рис. 5

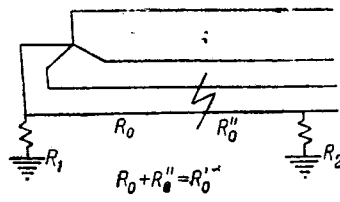


Рис. 6

Схемы с 2 повторными заземлениями в общем случае имеют вид, представленный на рис. 7 (для простоты на схеме показана только одна фаза). В частных случаях некоторые сопротивления, показанные на схеме, приравниваются нулю.

Например, если оба заземления расположены на одной линии, то сопротивление  $ed = 0$ . Когда заземления расположены на отдельных линиях, отходящих непосредственно от трансформаторного пункта, —  $ae = 0$ .

Как и при одном повторном заземлении, наибольшее напряжение прикосновения имеет место при замыкании за одним из повторных заземлений (считая от трансформаторного пункта).

Если сопротивления обоих повторных заземлений равны, то расчет следует вести для случая замыкания за тем заземлением, которое расположено дальше от трансформаторного пункта. Схема с двумя повторными заземлениями может быть представлена в виде рис. 8.

Для определения эквивалентных сопротивлений выделяется контур  $aedf$ , в который входят сопротивления заземлений и соединяющего их нулевого провода.

Постепенно преобразуя контур, можно получить:

$$\begin{aligned} ab &= \frac{r_1 r_3}{r_1 + r_3 + r_5}; \\ be &= \frac{r_1 r_5}{r_1 + r_3 + r_5}; \\ bf &= \frac{r_3 r_5}{r_1 + r_3 + r_5}; \\ bed &= \frac{r_1 r_5 + r_2 (r_1 + r_3 + r_5)}{r_1 + r_3 + r_5}; \\ bfd &= \frac{r_3 r_5 + r_4 (r_1 + r_3 + r_5)}{r_1 + r_3 + r_5}. \end{aligned}$$

Пусть напряжение в точке  $e'$  равно напряжению в точке  $f$  и в совмещенной точке  $c$ , тогда

$$e'd = bed \frac{fd}{bfd} = \frac{r_1 r_5 + r_2 (r_1 + r_3 + r_5)}{r_3 r_5 + r_4 (r_1 + r_3 + r_5)} r_4,$$

откуда

$$\begin{aligned} cd &= \frac{e'd \cdot fd}{e'd + fd} = \\ &= \frac{r_1 r_5 + r_2 (r_1 + r_3 + r_5)}{r_1 r_5 + r_2 (r_1 + r_3 + r_5) + r_3 r_5 + r_4 (r_1 + r_3 + r_5)} r_4 = \\ &= \frac{r_3 r_4 r_2 + r_4 r_5 (r_1 + r_3) + r_4 r_1 r_2}{(r_2 + r_4) (r_1 + r_3 + r_5) + (r_1 + r_3) r_5}. \end{aligned}$$

Определив по этой формуле  $cd$ , можно найти

$$R''_0 = cd + dg.$$

Другое сопротивление определяется аналогично, если в предыдущей формуле взаимно поменять местами  $r_1$  и  $r_2$ ;  $r_3$  и  $r_4$ :

$$R'_0 = ac = \frac{r_3 r_4 r_1 + r_3 r_5 (r_1 + r_3) + r_3 r_1 r_2}{(r_1 + r_3) (r_2 + r_4 + r_5) + (r_2 + r_4) r_5}.$$

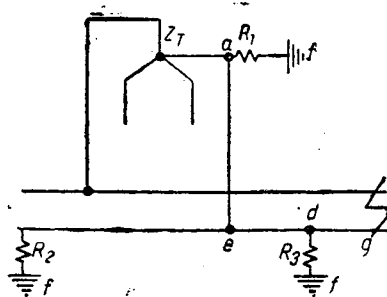


Рис. 7

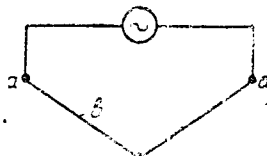
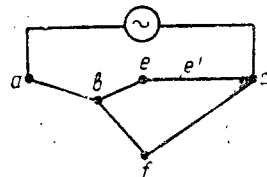
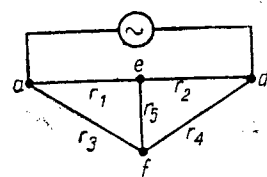


Рис. 8

Аналогичные формулы можно вывести для трех повторных заземлений, что, однако, реже встречается на практике.

Следует отметить, что иногда отсасывающее действие брони силовых кабелей может увеличить напряжение прикосновения (случаи 2, 3, 5, 7, 8, 10) при замыканиях в сети низкого напряжения. Это обстоятельство необходимо учесть при расчетах.

Подытоживая все сказанное относительно замыканий в сети низкого напряжения, необходимо отметить следующее.

Прикосновение к токоведущим частям при изолированной нейтрали значительно опаснее, чем при заземленной наглухо; напряжение прикосновения к металлическим конструкциям в случаях 1, 6 сильно зависит от состояния электродов и при неблагоприятных соотношениях может приблизиться к линейному напряжению.

В случаях 2, 3, 7, 8 напряжение  $U''$  зависит от соотношения между сопротивлениями  $R_1, R_3, R_5$ , которые, вообще говоря, непостоянны и не могут быть точно предусмотрены.

Необходимо подчеркнуть, что полный или частичный отказ от занулений в пользу простых защитных заземлений значительно увеличивает опасность установки при замыканиях в сети низкого напряжения. Учитывая все сказанное, случаи 1, 2, 3, 6, 7, 8 следует поместить в одном ряду по опасности прикосновения к железу.

Менее опасными являются случаи глухого заземления нейтрали с занулением — 4, 9 и, наконец, еще менее опасными случаи 5, 10, в которых имеются параллельные пути для токов замыкания на землю.

**Замыкание на землю в сети высокого напряжения.** В связи с распространенной в настоящее время установкой дугогасящих катушек на станциях и подстанциях защитное заземление можно рассчитывать не на полный ток замыкания на землю, а на наибольший возможный остаточный ток (реактивный и активный).

Замыкания на землю в сети высокого напряжения не представляют опасности для установок низкого напряжения в случаях 1, 2, 3, 4, 5, 6.

<sup>1</sup> В случае 6 безопасность обеспечивается, если сопротивление заземления  $R_0$  рассчитано так, что исключена возможность обратного пробоя пробивного предохранителя.

В случае 7 броня низковольтных кабелей не должна соединяться с контуром заземления и соответственно можно не считаться с возможностью разноточности напряжения по броне.

Следовательно, для вариантов 1, 2, 3, 4, 5, 6 заземляющие контуры в трансформаторных пунктах могут рассчитываться, как обычно для установок высокого напряжения.

Исходя из проекта правил устройства заземлений в установках высокого напряжения<sup>8</sup>, наиболее подходящей величиной допустимого напряжения прикосновения для сетевых трансформаторных пунктов можно признать 150 В. При этом еще можно принять коэффициент растекания порядка 0,5.

В других случаях в сети низкого напряжения появляется напряжение прикосновения, которое не должно превосходить допустимой величины, зависящей от характеристики помещения, вероятности прикосновения и пр.

В случае 7 напряжение прикосновения к токоведущей части составляется из падения напряжения в заземляющем контуре и фазового напряжения низковольтной сети.

Ток замыкания на землю обычно отстает от напряжения одной из фаз высоковольтной сети приблизительно на 90°. При стандартном сдвиге фаз обмоток трансформатора (0°) потеря напряжения в заземлении смещена на 30° по отношению к одному из вторичных фазовых напряжений. Приблизительно их можно сложить арифметически.

Прикосновение к железу можно было бы поэтому считать безопасным, если бы имела полная гарантия отсутствия случайных занулений. Поскольку такой гарантии нет, а также учитывая серьезность разбираемой опасности, следует признать, безусловно, необходимым рассчитывать напряжение прикосновения с учетом занулений. В наихудших условиях находится потребитель, расположенный вблизи от трансформаторного пункта.

В случае 8 сопротивление  $R_0$ , входящее в формулу напряжения прикосновения к токоведущей части, определяется без учета защитных заземлений  $R'_0$ , а эквивалентное сопротивление  $R'_0$ , относящееся к случаю прикосновения к конструкции, учитывает защитное заземление.

Например, при одном повторном заземлении

$$R'_0 = \frac{R'_0 R_1 (R_0 + R_2)}{R'_0 R_1 + (R_0 + R_2) (R'_0 + R_1)}$$

Определение  $R_0$  для случая 10 не представляет затруднений.

Очевидно, прикосновение к токоведущим частям наиболее опасно в случаях 7, 9, в которых весь ток проходит через заземление нейтрали. Затем идут случаи 8, 10 и, наконец, все остальные, в которых данная авария вообще не влияет на сеть низкого напряжения.

В отношении опасности прикосновения к металлическим предметам порядок расположения расчетных случаев остается тот же, что для прикосновения к токоведущим частям.

**Переход высокого напряжения в сеть низкого напряжения.** Хотя данная авария менее вероятна, чем замыкание в сети высокого напряжения, но все же в виду серьезности ее возможных последствий пренебрегать ею ни в коем случае не следует. Необходимость учета этой аварии наряду с другими режимами подтверждается опытом Америки и Франции, как это было указано в начале статьи.

Рассматривая опасность прикосновения при переходе высокого напряжения на сторону низкого, следует иметь в виду оговорку, сделанную при рассмотрении предыдущего режима, об учете действия дугогасящих аппаратов.

В случаях 1, 6 пробивной предохранитель должен при данной аварии пробиваться. Однако практически не исключена возможность пробоя на землю в какой-либо точке сети низкого напряжения вместо пробоя предохранителя. Эта возможность вполне реальна, в связи с происходящим понижением изоляции, а также в виду непостоянства пробивного напряжения предохранителей, зависящего от многих факторов (вообще это напряжение довольно велико, порядка 250—400 В).

Во всех остальных случаях напряжение прикосновения определяется по тем же формулам, что и при замыкании на землю на стороне высокого напряжения (но при общем заземляющем контуре).

Сравнивая опасность прикосновения при данном режиме, следует признать, что она наиболее велика при вариантах 1, 6, так как весь аварийный ток может пройти через защитное заземление у потребителя, и, кроме того, при пробое на землю фазы низкого напряжения напряжение прикосновения значительно возрастает. Менее опасны случаи 2, 4, 7, 9 и затем все остальные.

**Выбор рациональной системы заземления.** Произведенный анализ позволит при проектировании заземлений в распределительных сетях с смешанной нагрузкой установить целесообразность: 1) заземления нейтрали через пробивной предохранитель или глухого; 2) общего или раздельного заземления нейтрали; 3) занулений; 4) устройства повторных заземлений.

Выше было доказано, что благодаря установке пробивного предохранителя между нейтралью трансформатора и землей опасность прикосновения снижается только при замыкании на стороне высокого напряжения. При остальных аварийных режимах условия прикосновения, наоборот, становятся более тяжелыми.

К этому необходимо добавить большую пожарную опасность установок с изолированной нейтралью<sup>9</sup>. Этому обстоятельству, к сожалению, обычно не уделяется достаточно внимания. Как и в отношении несчастных случаев с людьми, в литературе не приводится технический анализ случаев пожара «от неисправности электрических проводов».

Ввиду бесполезности и даже вредности применения пробивных предохранителей целесообразно совершенно отказаться от них, независимо от номинального напряжения установки, и перейти



исключительно к глухим заземлениям нейтралей.

Обращаясь к вопросу о раздельном или общем заземлении, необходимо отметить, что разделение заземлений несколько снижает опасность только при замыкании в сети высокого напряжения и не имеет значения при переходе высокого напряжения в низковольтную сеть и при авариях в этой последней.

С другой стороны, общеизвестна трудность устройства раздельных заземлений, граничащая с невозможностью, в особенности на небольших трансформаторных городских пунктах. Затрата средств на заземление при раздельной системе приблизительно удваивается.

Исходя из сказанного, вполне рационально отказаться от устройства раздельных заземлений сетевых трансформаторных помещений.

В качестве защитного мероприятия в установках низкого напряжения следует применять зануления (а не простые защитные заземления) и в случае необходимости повторные заземления. Однако выполнение занулений в установках низкого напряжения вообще не во всех случаях обязательно.

Здесь можно руководствоваться указанием проекта правил 1934 г.<sup>6</sup>, в котором защитные мероприятия — заземления или зануления — предписываются при напряжении 380/220 В во всех помещениях, за исключением таких, где человек надежно изолирован от земли. Надежной изоляцией следует признать также сухой деревянный пол, ввиду чего, например, в обычных жилых помещениях занулений делать не следует.

По тому же проекту для установок напряжением 220/127 В защитные мероприятия требуются только в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, причем в помещениях с повышенной опасностью они обязательны только для металлических частей, охватываемых рукой (рукоятки и пр.).

В тех случаях, когда требуются защитные мероприятия, следует занулять все металлические предметы, находящиеся вблизи от токоведущих частей. Примерный перечень частей, подлежащих занулению, указан в проекте правил устройства заземлений<sup>6</sup>.

Зануление почти всегда может быть осуществлено одним из следующих способов: 1) присоединением металлических конструкций к нулевой шине распределительного щита при помощи железной проводки; 2) присоединением непосредственно к нулевому проводу (должно быть обеспечено надежное соединение его с нейтралью); 3) согласно последним данным, в некоторых случаях для зануления может быть использована свинцовая оболочка кабелей.

Лишь в редких случаях, при большой трудности занулений от них можно отказаться и ограничиться простым заземлением, причем необходимо тщательно проверить возможные при этом напряжения прикосновения.

При наличии зануления, конечно, отпадает необходимость устройства простых защитных заземлений.

Что касается необходимого количества, расположения и сопротивлений повторных заземлений,

то они определяются с таким расчетом, чтобы при наихудших условиях замыкания на землю на высоком или низком напряжении напряжение прикосновения к конструктивным частям не превосходило определенных величин, а именно:

согласно правилам правил устройства заземлений напряжение прикосновения не должно превышать при длительном токе замыкания на землю 65 В; при кратковременном токе и длительном соприкосновении в помещениях без повышенной опасности — 150, в помещениях с повышенной опасностью — 100, а в особо опасных помещениях — 65 В;

при кратковременном токе замыкания на землю и возможности только кратковременного соприкосновения — соответственно 300, 200 и 100 В.

В некоторых случаях (например при неблагоприятных условиях грунта, больших расчетных токах и пр.) может оказаться выгодным местное снижение напряжения прикосновения в том или ином помещении при помощи повторных заземляющих электродов особой формы, обеспечивающих плавное спадание потенциала.

К числу таких способов можно отнести: кольцевание мест опасности, закладку ряда параллельных полос, закладку нескольких полосовых заземлителей в форме козырька и т. п.

По исследованиям А. П. Белякова<sup>10</sup> при помощи подобных электродов напряжения прикосновения могут быть значительно снижены.

Следует иметь в виду, что устройство одного заземления в трансформаторном пункте требует большего числа электродов (например труб), чем несколько заземлений с той же суммарной проводимостью растекания.

При устройстве заземлений следует обращать особое внимание на использование металлических оболочек кабелей в качестве заземляющих электродов, что значительно снижает общее сопротивление растекания<sup>11</sup>. Для этой цели броня всех низковольтных и высоковольтных кабелей, отходящих как из трансформаторного пункта, так и от распределительного щита потребительской установки, должна быть надежно соединена с нулевой шиной.

Сопротивления растекания брони должны быть введены в расчетные схемы, причем кабели, отходящие от трансформаторного пункта, учитываются как электроды первичного заземления, а от приемного пункта — как электроды повторного заземления.

Во многих случаях через броню кабелей соединяются между собой параллельно заземления нескольких трансформаторных пунктов, что следует также учитывать в расчетах.

В сети низкого напряжения желательно соединять между собой нулевые провода, отходящие от разных трансформаторных пунктов.

В заключение следует отметить, что глухое заземление нейтралей в качестве основной системы заземления в смешанных и осветительных сетях низкого напряжения совместно с заземлением

<sup>10</sup> "Электрические станции" № 12, 1936.

<sup>11</sup> "Электричество" № 13, 1935 г., статья Рябковой.

высокого напряжения наряду с полными занулениями и повторными заземлениями в потребительских установках, требующих защитных мероприятий, обеспечит простоту, универсальность и надежность эксплуатации.

Вместе с тем, расчеты показывают, что предлагаемое решение не будет обременительным с экономической стороны, в особенности при учете всех упомянутых выше факторов, снижающих напряжения прикосновения — отсасывающее действие оболочек кабелей, соединение нейтралей, устройство специальных электродов и пр

## Заземление нейтрали электросетей 380/220 V

### NEUTRAL EARTHING OF 380-220 V-NETWORKS

Л. П. Подольский

Электропром

В СЕОСОЮЗНЫЙ институт охраны труда про- вел<sup>1</sup> предложенное мною<sup>2</sup> в 1932 г. экспериментальное исследование для выяснения роли заземления нейтрали в сетях 380/220 V в уменьшении опасности поражения людей электрическим током.

Некоторые серьезные недочеты в принятой институтом методологии при выполнении этой работы, а также прямые ошибки, допущенные при освещении вопросов, связанных с темой, требуют специального рассмотрения.

1. Как известно, для разрешения вопроса о целесообразности заземления нейтрали весьма существенным является выяснение длительности ненормальных режимов изоляции сети, режимов замыкания на землю.

Вероятность таких режимов зависит от следующих факторов: а) протяженности сети; б) наличия на предприятии надлежащего надзора за состоянием изоляции и обеспечивающего быстрое устранение возникающих нарушений; в) условий воздействия внешней среды на изоляцию; г) правильного выбора рода электропроводки, типов приемников и распределительных устройств.

В отчете содержатся указания лишь на второй и третий факторы, но ничего не говорится об остальных. Это обстоятельство не позволяет сделать надлежащие выводы из рассмотрения, вообще говоря, весьма интересной табл. 1, которая составлена нами на основе данных, приведенных в работе В. И. Корольковой (рис. 11).

Из таблицы видно, что длительность замыканий на землю на заводе «Калибр» (металлообрабатывающий завод со сравнительно нормальными условиями для работы проводки) превосходит длительность замыканий на Мясокомбинате и почти равна длительности их на Электродном заводе, несмотря на то, что условия эксплуатации проводки на последних предприятиях значительно хуже, чем на металлообрабатывающих заводах.

В работе следовало бы по меньшей мере сделать попытку объяснить этот весьма интересный факт, что автором, к сожалению, не выполнено.

<sup>1</sup> В. И. Королькова, Проблема заземления электроустановок 380/220 V. «Электричество» № 2, 1937.

<sup>2</sup> Л. П. Подольский, Нужно ли заземлять нейтраль в установках низкого напряжения. «Электричество» № 4, 1932.

Таблица 1

Длительность замыканий на землю в процентах от длительности работы установки за соответствующий период

Завод	Месяцы									За весь период экспериментирования
	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
„Станколит“ .	—	1,6	33	25,8	4,4	7,6	36,5	30,9	15,5	20
Электродный .	—	—	0	5	26,8	37,3	3,2	4,6	0	11
Мясокомбинат	10	8,6	7,9	5	5,3	14,7	3,2	1,1	12,9	7,6
„Калибр“ . . .	—	5,4	5,2	13,8	11,7	10	12,08	15,9	15,5	10

Более того, как указывалось выше, в работе нет данных, на основе которых такое объяснение могло бы быть дано.

2. Вопрос о целесообразности заземления нейтрали в сетях различных заводов автор пытается разрешить безотносительно к величинам сопротивлений пути тока через человеческое тело, характерного для условий эксплуатации данного цеха.

Как будет показано ниже, результаты экспериментов, произведенных автором, не дают ему права на это.

Действительно, путем анализа<sup>3</sup> можно установить, что каждому режиму изоляции сети отвечает некоторое определенное сопротивление пути тока через человеческое тело, при котором величина тока, проходящего через человека, не зависит от того, заземлена ли нейтральная точка или изолирована. Это сопротивление названо было мною «критическим».

При сопротивлениях пути тока через тело, меньших критического, заземление нейтрали приводит к уменьшению опасности, а при сопротивлениях, больших критического, имеет место обратное соотношение.

Эксперименты, произведенные В. И. Корольковой, как и следовало ожидать, показали, что указанное положение применимо не только к каждому режиму изоляции сети, имеющему место в ка-

<sup>3</sup> Л. П. Подольский, Анализ условий и безопасности в трехфазных сетях низкого напряжения с заземленной и изолированной нейтральными точками. «Электричество» № 4, 1927.

кой-либо определенный момент, но оно справедливо и при статистическом методе исследования. В самом деле, рассмотрим результаты экспериментов, причем для удобства перегруппируем имеющиеся в статье материалы, сведя их в табл. 2.

Таблица 2

Распределение условных несчастных случаев по степеням тяжести поражений в процентах от общего числа их

Сопротивление пути тока через человеческое тело, $\Omega$	Наименование завода	Число несчастных случаев							
		нуль сети изолирован				нуль сети заземлен			
		легких	средних	тяжелых	смертельных	легких	средних	тяжелых	смертельных
1 000	Мясокомбинат	2	0,2	1,3	96,5	—	—	—	100
	„Калибр“	5,8	0,2	0,5	93,5	—	—	—	100
	„Станколит“	9	—	—	91	—	—	—	100
	Электродный	4,7	1,2	0,6	93,5	—	—	—	100
2 000	Мясокомбинат	2,4	1,5	35,5	60,6	—	—	—	100
	„Калибр“	6,2	0,2	31,4	62,2	—	—	—	100
	„Станколит“	9,7	—	2,9	87,9	—	—	—	100
	Электродный	5,5	1,5	21,5	71,5	—	—	—	100
4 000	Мясокомбинат	4,6	31,4	64	—	—	—	100	—
	„Калибр“	6,8	21	72,2	—	—	—	100	—
	„Станколит“	9	2	85	4	—	—	100	—
	Электродный	7,8	35	57,2	—	—	—	100	—
6 000	Мясокомбинат	13,9	77	9,1	—	—	100	—	—
	„Калибр“	11,4	73,6	15	—	—	100	—	—
	„Станколит“	11,2	71	17,8	—	—	100	—	—
	Электродный	10,9	77	12,1	—	—	100	—	—
10 000	Мясокомбинат	96,4	3,6	—	—	100	—	—	—
	„Калибр“	86	14	—	—	100	—	—	—
	„Станколит“	82,8	17,2	—	—	100	—	—	—
	Электродный	87,3	12,7	—	—	100	—	—	—

Примечание: Несчастные случаи условно классифицированы следующим образом:

Ток через человеческое тело до 30 мА, легкие  
 „ „ „ „ от 30 до 50 мА, средние;  
 „ „ „ „ 50 „ 100 мА, тяжелые  
 „ „ „ „ выше 100 мА, смертельные

Если в качестве решающего показателя принять число смертельных или тяжелых несчастных случаев, то легко видеть, что сети с изолированной нейтралью имеют явное преимущество при сопротивлении пути тока через человеческое тело до 4000  $\Omega$ .

Наоборот, как видно из той же табл. 2, заземление нейтрали для всех четырех заводов предпочтительно при сопротивлении пути тока через человеческое тело от 6000  $\Omega$  и выше.

Ясно, что мы вправе для сети каждого из четырех обследованных предприятий ввести понятие «критическое сопротивление», которое приобретает смысл уже не только для мгновенных режимов, но и в отношении какого-то среднего режима изоляции, и имеющего место на данном предприятии и характеризующего условия эксплуатации на нем.

Чрезвычайно интересен, но несколько неожидан полученный нами вывод, что на всех четырех обследованных предприятиях критические сопротивления пути тока через человеческое тело (понимаемые «статистически») приблизительно равны между собой: они заключаются между 4000 и 6000  $\Omega$  и в первом приближении их можно принять равными 5000  $\Omega$  (этот результат следовало бы привести в связь с фактом отсутствия значительных разниц между величинами, выражающими суммарные продолжительности замыканий на землю).

Во всяком случае возможность применения к длительным эксплуатационным режимам изоляции сетей понятия «критическое сопротивление человеческого тела» и установление на основе произведенных экспериментов величины его (5000  $\Omega$ ) позволяет в отношении рассматриваемых предприятий сделать следующий вывод: если бы средняя величина сопротивления пути тока через человеческое тело в условиях эксплуатации какого-либо из числа обследованных предприятий оказалась бы менее 5000  $\Omega$ , то вопрос о заземлении нейтрали должен быть для него разрешен отрицательно, а в противном случае — положительно.

Определение этих сопротивлений должно было явиться вторым этапом данной работы. Ограничиться произведенными элементарными измерениями и сделать вывод в пользу изолированной нейтрали можно было лишь в том случае, если бы было очевидно, что среднее сопротивление пути тока через тело человека на данном предприятии наверняка ниже 5000  $\Omega$ . Между тем для такого вывода нет никаких оснований.

3. Автор утверждает, что при возникновении замыкания на землю в сетях 380/220 В с заземленной нейтралью напряжение каждой из двух неповрежденных фаз по отношению к земле может достигнуть 340 В. Этот аварийный режим, по мнению автора, может возникнуть каждый раз при замыканиях внутри заземленных приемников или аппаратов. Между тем известно, что в системах с заземленной нейтралью, как правило, в качестве защитной меры применяется не заземление, а зануление. При занулении же замыкания на зануленные корпуса могут быть лишь кратковременными, и поэтому они в указанном выше смысле не могут иметь существенного значения.

4. Автор полагает, что помощью математического анализа можно установить большую безопасность систем с изолированной нейтралью по сравнению с неизоллированными системами. Как было подробно объяснено выше, это утверждение неверно. Анализ приводит лишь к понятию о «критическом сопротивлении».

5. Неверно, что дискуссия о целесообразности применения системы 380/220 В с заземленной нулевой точкой «сводится к попыткам доказать значительную экономию меди при использовании для освещения фазового напряжения (220 В) и для силовой нагрузки линейного (380 В)». Вопрос о целесообразности заземления нейтрали ставится исключительно с точки зрения влияния этого заземления на условия безопасности. Если бы доказали, что установки с изолированной нейтралью являются более безопасными, в связи с этим такое

заземление было бы запрещено, то это обстоятельство не вызвало бы никаких затруднений для использования фазового напряжения 220 V в целях освещения.

6. Рекомендация автора применять для силовой сети 500 V, а для осветительной 220 V не имеет отношения к «проблеме заземления электроустановок 380/220 V». Во всяком случае система, предлагаемая автором, с точки зрения безопасности от поражения людей электрическим током, безусловно, уступает системе 380 V с изолированной нейтралью. Скорее всего она менее пригодна, чем система 380/220 V с заземленной нейтралью, однако этот вопрос требует специального исследования.

Действительно, уменьшение числа несчастных случаев, связанное со снижением напряжения осветительной сети, перекрывается увеличением числа несчастных случаев вследствие повышения напряжения силовой сети с 380 до 500 V. Это легко видеть из сопоставления <sup>4</sup> чисел несчастных

<sup>4</sup> Н. З. Хавин, Несчастные случаи от электричества. „Электрификация и электромонтер“ № 3, 1932.

случаев (проценты) по статистическим данным за 1925—1928 гг.

а) Несчастные случаи в осветительных сетях <sup>5</sup> :	
Штепселя, выключатели, лампы постоянного тока . . .	6
Ручные переносные приборы . . . . .	14
	20
б) Несчастные случаи в силовых сетях <sup>5</sup> :	
Рубильники . . . . .	21
Плавкие предохранители . . . . .	13
Изолированные провода . . . . .	12
Машины и аппараты . . . . .	12
Распределительные устройства . . . . .	8
Прочие . . . . .	5
	72

7. В заключение все же отметим, что работа выполненная Институтом охраны труда, несмотря на ее несовершенство, представляет значительный интерес. Следует пожелать, чтобы эта работа нашла свое продолжение в другом исследовании, уже базирующемся на более развитой методологии.

<sup>5</sup> За отсутствием точных указаний в статье т. Хавин классификация различных рубрик по силовым и осветительным сетям произведена мною по смыслу (Л. П.).

## НОВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

### Электрические машины средней мощности с возбуждением постоянными магнитами

ELECTRICAL MACHINES OF MEDIUM SIZE WITH PERMANENT MAGNET EXCITATION

Предварительное сообщение

А. С. Кантег  
ВЭИ

**О**ТКРЫТИЕ новых мощных, сравнительно дешевых магнитных материалов, в частности, алюминиево-никелевых сталей, дало возможность поставить вопрос применения возбуждения постоянными магнитами для электрических машин средней мощности порядка 5—20 kW и выше. Предварительные подсчеты, проведенные автором [1], показали, что возбуждение постоянными магнитами из алюминиево-никелевой стали может дать значительный экономический эффект в машинах постоянного тока мощностью до 10—15 kW и возможно выше.

Еще большее значение могут иметь постоянные магниты для возбуждения синхронных машин, как генераторов, так и моторов. Конструкция машины в этом случае значительно упрощается, так как отпадает необходимость в особом возбуждающем или подводе постоянного тока для возбуждения. Облегчается также благодаря этому в значительной степени уход за машиной. В синхронной машине с возбуждением постоянными магнитами отсутствуют, кроме подшипников, какие-ли-

бо подверженные износу части, как-то: кольца, коллектор, щетки.

Возможно выполнение небольших синхронных машин для ряда случаев, где в настоящее время электрическая энергия не может быть рентабельно применена.

Преимущества возбуждения постоянными магнитами настолько очевидны, что сравнение между возбуждением от постоянных магнитов и электромагнитов проводилось неоднократно. Так например еще Watson [2] сравнивал возбуждение постоянными магнитами из кобальтовой стали с содержанием 15% кобальта и электромагнитами.

Как известно, первые по времени электрические машины имели возбуждение от постоянных магнитов, причем это возбуждение применялось для генераторов как постоянного, так и переменного тока. Даже после открытия принципа самовозбуждения продолжали строиться известные время электрические машины с возбуждением постоянными магнитами.

Интересно отметить, что даже после того как

машины с электромагнитным возбуждением получили широкое применение, вырабатывались новые конструкции машин сравнительно большой мощности с постоянными магнитами. Как пример следует указать машину De Meritens, для вращения которой необходимо иметь до 8 л. с. при 790 об/мин [3]. Указывались следующие преимущества этих машин — магнито-электрических — по сравнению с динамоэлектрическими: большая простота конструкции, постоянство получаемого напряжения и независимость его от температурных изменений обмотки возбуждения.

Следует полагать, что постоянные магниты были вытеснены не только вследствие большой мощности и меньшей стоимости электромагнитов, но и вследствие крайнего несовершенства самих имевшихся в то время постоянных магнитов.

В эпоху 1870—1885 гг., кроме углеродистой стали с большим содержанием углерода, никаких других магнитных материалов не было. Углеродистая сталь развивала очень небольшую магнитную энергию и была сравнительно неустойчива в работе, легко теряя при случайных размагничиваниях магнитное состояние.

Новые магнитные сплавы, мощные по магнитной энергии, недорогие по составу входящих материалов и устойчивые в работе, дают все основания снова поставить вопрос о применении постоянных магнитов для возбуждения электрических машин различных типов.

Для проверки расчетов и предположений возможности возбуждения больших сравнительно машин постоянными магнитами [1] в ВЭИ был сконструирован и выполнен образец машины средней мощности.

На рис. 1 представлен разрез машины. Она выполнена подобно нормальной машине постоянного тока, но, кроме коллектора, имеются три кольца, к которым выведены соответствующие точки обмотки для получения трехфазного тока. В машине имеются дополнительные полюса. При работе ее на переменном токе дополнительные полюса возможно снять. В правой части рис. 1 показано приспособление для регулирования напряжения в машине, выполненное в виде магнитного шунта.

Приближая к полюсам магнитов ферромагнитные массы, мы имеем возможность замкнуть часть магнитного потока, помимо якоря, и тем самым уменьшить поток, входящий в якорь и снизить напряжение машины.

Машина выполнена таким образом, что возможно проведение следующих исследований: работа машины генератором постоянного тока, мотором постоянного тока, трехфазным генератором, трехфазным синхронным мотором, преобразователем одноякорным, генератором двойного действия,

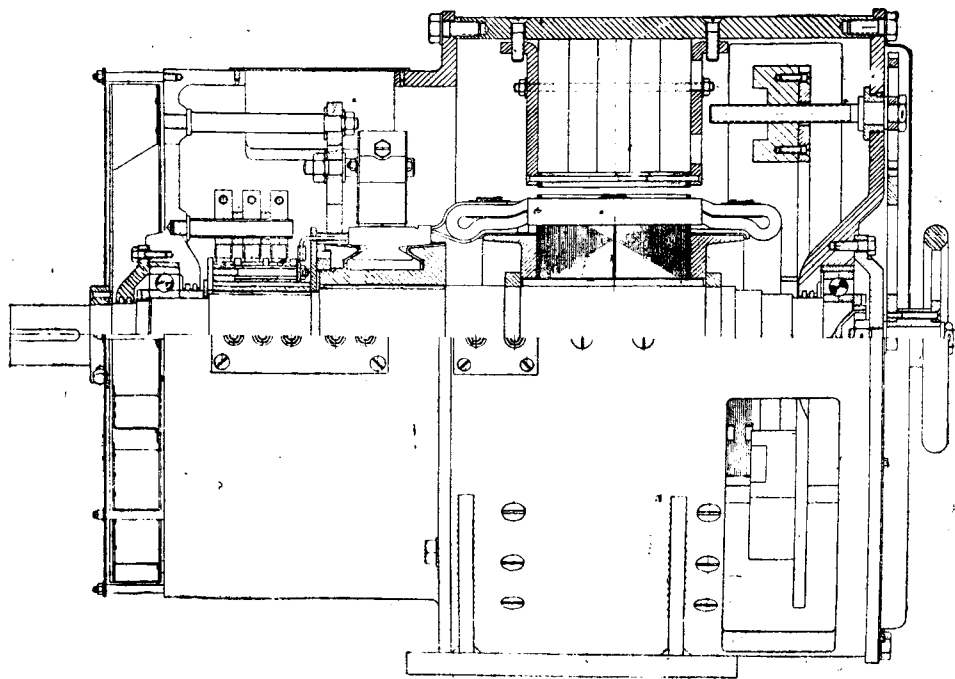


Рис. 1

Насколько известно автору, конструкция на такую мощность с возбуждением постоянными магнитами не выполнялась с тех пор, как в электромашиностроении перешли на возбуждение электромагнитами.

Так как полученные уже результаты испытаний представляют, безусловно, большой интерес, было решено опубликовать данные испытаний как предварительное сообщение.

При испытании мотором постоянного тока мощность на валу достигала до 20 kW.

При испытании генератором постоянного тока машина выдерживала кратковременно нагрузки до 7,0 kW, не показывая следов размагничивания.

При работе трехфазным генератором машина испытывалась как на параллельную работу с сетью, причем легко входила в синхронизм, так и на работу самостоятельным генератором на активную нагрузку — реостаты.

При использовании ее в качестве трехфазного синхронного мотора машина вращала генератор постоянного тока, развивая мощность на валу до 4—5 kW. Впервые в истории электрических машин получена такая мощность от синхронного мотора с возбуждением постоянными магнитами.

**Нагрев.** При работе генератором постоянного тока и при нагрузке 54 A, 92 V (5,00 kW), в течение 3 h перегрев якоря по сопротивлению равнялся 69,0° коллектора 61°С (по термометру), перегрев дополнительных полюсов по сопротивлению составлял 37,0°С. Испытание на большую мощность пока не проводилось, так как коллектор лимитировал как кратковременную нагрузку, так и перегрев машины. При дальнейших испытаниях предполагается поставить еще один комплект щеток.

Вентиляция машины при первых испытаниях работала в основном, как обычно в нормальных машинах постоянного тока. При этом главная

масса воздуха проходила между полюсами. Так как в нашем случае главные полюса — постоянные магниты — тепла не выделяют, то воздух почти не прогревался.

Перегрев воздуха, выходящего из машины, равняется всего  $5^{\circ}\text{C}$ . Для сравнения следует отметить, что перегрев воздуха мотора, приводящего во вращение генератор с постоянными магнитами и работающего меньше чем на половинную нагрузку, равнялся  $12^{\circ}\text{C}$ , т. е. в 2 раза больше, чем генератора. В дальнейшем намечена серия опытов с различным устройством вентиляции.

При работе машины генератором переменного тока, когда нагрев от коллектора не имел места, перегрев машины был очень невелик. При длительной нагрузке током в 32—33 А перегрев якоря по сопротивлению равнялся всего  $21^{\circ}\text{C}$ . В отношении перегрева машина может, очевидно, выдерживать длительное время ток к. з., не подвергаясь опасности порчи изоляции. В этом отношении машина ведет себя вполне подобно небольшим машинам с постоянными магнитами, исследованными автором в предыдущих работах [4].

**Размагничивание постоянных магнитов.** Вопрос размагничивания машин, возбуждаемых постоянными магнитами, подробно разобран автором в предыдущей работе [5]. Проведенные исследования вполне подтвердили выводы автора.

При работе машины генератором постоянного тока никакого размагничивания машины не наблюдалось. Щетки были установлены в нейтральном положении, и реакция якоря давала только поперечную слагающую. Так как на постоянных магнитах имеются в данном случае полюсные наконечники из мягкого железа, то поток поперечной слагающей замыкался через полюсные наконечники, и размагничивания постоянных магнитов не наблюдалось.

При работе машины генератором переменного тока с нагрузкой в виде сопротивления замечалось определенное небольшое размагничивание. Максимальное размагничивание при такой нагрузке происходило при к. з. всех трех фаз, но величина его при этом не превышала определенного значения (падение напряжения генератора примерно около 15%), причем после первого к. з. напряжение генератора стабилизировалось, и последующие к. з. не вызывали дальнейшего размагничивания постоянных магнитов. Более значительное по величине размагничивание наблюдалось при выпадении из синхронизма машины при работе ее синхронным мотором от сети более высокого напряжения, чем напряжение самой машины.

Высокое напряжение сети создавало в этом случае сравнительно большой размагничивающий ток. Исследования показали полную возможность устойчивой работы машин с постоянными магнитами при соответствующем подборе параметров даже при полных к. з. в сети.

**Намагничивание постоянных магнитов.** При первоначальном пуске магниты в машине намагничивались в собранном состоянии при помощи обмотки, намотанной на главные полюса. В обмотку давался ток большой величины — до 1000 А. После намагничивания обмотка с полюсов снималась.

При проведении опытов была проверена и доказана полная возможность производить намагничивание, не прибегая к специальной обмотке, — непосредственно от сети переменного тока. Для такого намагничивания машина включалась в синхронную работу с сетью, затем напряжение сети подымалось, причем сила тока между машиной и сетью резко повышалась. При достижении того известного величины рубильник, соединяющий сеть с машиной, разрывался, и магниты машины намагничивались. Не останавливаясь пока на явлениях, происходящих при намагничивании током, и теоретическом их обосновании, что служит предметом дальнейших исследований, необходимо указать, что возможность намагничивать магниты от сети переменного тока представляет большой практический интерес.

Были проведены исследования намагничивания магнитов от сети постоянного тока, пропуская при неподвижной машине ток через щетки, коллектор и якорь машины; пробовали также намагнитить машину от сети переменного тока, включая и выключая рубильник при неподвижном якоре.

Все эти опыты дали полную уверенность в возможности намагнитить постоянные магниты от внешней сети переменного или постоянного тока, не прибегая к особым намагничивающим обмоткам и используя рабочие обмотки самой машины.

Проведенные работы являются только первым шагом по введению или, вернее, возвращению постоянных магнитов в электромашиностроение.

Для полного использования постоянных магнитов необходимо создать особые типы машин, построенные на других основаниях, чем существующие, так как ограничения, которые имеются для современных типов машин (нагрев), отпадают или во всяком случае резко уменьшаются для машин, возбуждаемых постоянными магнитами.

С другой стороны, реакция якоря лимитирует мощность, развиваемую этими машинами. Возможно, что окажется правильным применить в этих машинах средства для уменьшения влияния реакции якоря, как-то: компенсационные обмотки, особую форму полюсных наконечников и т. п. Во всяком случае на основании полученных уже результатов можно с уверенностью сказать, что в области небольших и средних по мощности (порядка десятков kW) электрических машин целесообразно в ряде случаев применение возбуждения постоянными магнитами. Это возбуждение рационально использовать не только для специальных машин, но и для нормальных серийных типов.

В особых случаях применение постоянных магнитов дает возможность иметь электрическую машину в тех областях, где сейчас нет возможности использовать электроэнергию.

Следует в заключение отметить, что в настоящем 1937 г. исполнилось 70 лет с тех пор, как Werner Siemens выступил с докладом в Берлинской академии наук, озаглавленном «Как получить электрический ток без помощи постоянных магнитов».

За прошедшее время успехи в области магнитных материалов дают возможность вернуться



к постоянным магнитам, но на более высоком уровне развития<sup>1</sup>.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Кантер, Возбуждение электрических машин постоянными магнитами. Бюллетени ВЭИ № 6, 1935.

<sup>1</sup> Автор считает должным указать, что в процессе исследования он получил много ценных указаний от инж. М. В.

2. E. A. Watson, The Economic Aspect of the Utilization of Permanent Magnets in Electrical Apparatus. Journ. Inst. Elect. Eng., 1925.

3. W. Uhland, Das elektrische Licht. Leipzig 1884.

4. А. С. Кантер. Машины с постоянными магнитами. «Вестник электропромышленности» № 10, 1934.

5. А. С. Кантер. Реакция якоря в электрических машинах с постоянными магнитами. «Электричество» № 3, 1937.

Смирнова; все основные испытания машины были проведены техником Е. К. Шмариной.

## Экспериментальное определение реактанцев всех трех последовательностей синхронного генератора

### ELECTRICAL DETERMINATION OF POSITIVE, NEGATIVE—AND ZERO SEQUENCE OF A SYNCHRONOUS GENERATOR

М. И. Земляной  
ВЭИ

**РЕАКТАНЦЫ** установившегося режима синхронного генератора проще всего определять из характеристик. Преимущество этих методов состоит в том, что они не требуют постороннего источника тока, который не всегда можно иметь в производственных условиях. Эти методы привлекли к себе внимание своей простотой, и в настоящее время известен целый ряд их (Фаллю, Райт, Ефремов—Толвинский, Капп и т. д.).

Однако все они требуют для определения реактанцев всех трех последовательностей осуществления трех опытов к. з.: трехполусного, двухполусного и однополусного или двухполусного на нуль. На практике проведение этих опытов в известной мере затруднительно. Кроме общей установки трансформаторов тока, перед каждым испытанием необходимо еще произвести пересоединения короткозамыкающих шин, что требует продолжительного времени для тщательного укрепления этих шин в связи с большими токами, протекающими при этих опытах.

Нами ранее<sup>1</sup> был опубликован метод определения реактанцев всех трех последовательностей из опыта двухполусного к. з. на нуль.

Дальнейшее исследование этого вопроса показало, что все три реактанта —  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_0$  — могут быть определены экспериментально из одного к. з., а именно: двухполусного с однополусным одновременно.

На рис. 1 представлена такая схема к. з. В этом случае фазы  $B$  и  $C$  замкнуты между собой, а фаза  $A$  соединена с нулем. При таком к. з. мы имеем как бы совмещение двух к. з. — двухполусного и однополусного.

Рассмотрим с помощью симметричных составляющих этот вид к. з.

Напряжение в фазе  $A$

$$U_A = 0.$$

Напряжения между фазами  $B$  и  $C$  и нулем равны между собою по величине:

$$U_B = U_C.$$

Найдем теперь симметричные составляющие напряжений, принимая за определитель системы фазу  $A$ :

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A_1} &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B a + \dot{U}_C a^2) = \frac{\dot{U}_B (a + a^2)}{3} = \\ &= -\frac{\dot{U}_B}{3} = -\frac{\dot{U}_C}{3}; \\ \dot{U}_{A_2} &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B a^2 + \dot{U}_C a) = \frac{\dot{U}_B (a^2 + a)}{3} = \\ &= -\frac{\dot{U}_B}{3} = -\frac{\dot{U}_C}{3}; \\ \dot{U}_{A_0} &= \frac{1}{3} (\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C) = \frac{\dot{U}_B + \dot{U}_C}{3} = \\ &= \frac{2\dot{U}_B}{3} = \frac{2}{3} \dot{U}_C. \end{aligned} \quad (1)$$

Рис. 2. Диаграмма токов и напряжений двухполусного с однополусным к. з. ( $I_A = 6$ ;  $I_B = 5$ ;  $I_C = 5$ ;  $E = 76$ ;  $X_1 = 15,5$ ;  $X_2 = 2$  и  $X_0 = 4$ )

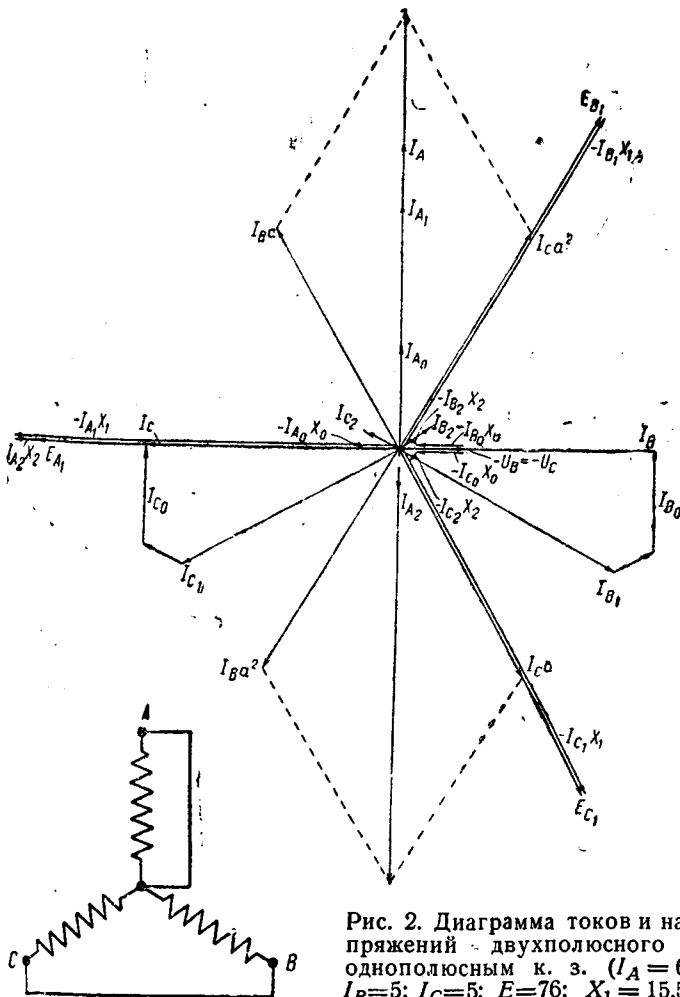


Рис. 1



В фазах  $B$  и  $C$  протекает один и тот же ток, и так как эти фазы соединены навстречу друг другу, то

$$i_B = -i_C.$$

Кроме того, заметим, что токи в фазах  $B$  и  $C$  расположены под углом  $90^\circ$  по отношению к току  $i_A$ . Симметричные составляющие для токов, отнесенные к фазе  $A$ , таковы:

$$\left. \begin{aligned} i_{A_1} &= \frac{1}{3} (i_A + i_{Ba} + i_{Ca^2}) = \frac{i_A + i_{Ba} - i_{Ba^2}}{3} = \\ &= \frac{i_A + i_B (a - a^2)}{3} = \frac{i_A + j\sqrt{3} i_B}{3}; \\ i_{A_2} &= \frac{1}{3} (i_A + i_{Ba^2} + i_{Ca}) = \frac{i_A + i_{Ba^2} - i_{Ba}}{3} = \\ &= \frac{i_A + i_B (a^2 - a)}{3} = \frac{i_A - j\sqrt{3} i_B}{3}; \\ i_{A_0} &= \frac{1}{3} (i_A + i_B + i_C) = \frac{i_A + i_B - i_B}{3} = \frac{i_A}{3}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Из уравнений (2) видно, что полный ток фазы  $A$  —  $i_A$  токи прямой, обратной и нулевой последовательностей  $i_{A_1}$ ,  $i_{A_2}$  и  $i_{A_0}$  находятся в фазе; полный ток в фазе  $A$ :

$$i_A = i_{A_1} + i_{A_2} - i_{A_0}.$$

Действительно,

$$\frac{i_A + j\sqrt{3} i_B}{3} - \frac{i_A - j\sqrt{3} i_B}{3} + \frac{i_A}{3} = i_A. \quad (3)$$

Для каждой из систем последовательностей может быть применен второй закон Кирхгофа о равенстве э. д. с. замкнутого контура сумме падений напряжений в нем же. Таким образом для системы прямой последовательности

$$\dot{E}_{A_1} = i_{A_1} X_1 + \dot{U}_{A_1} = i_{A_1} X_1 - \frac{\dot{U}_B}{3}. \quad (4)$$

Для систем обратной и нулевой последовательности действующая э. д. с. равна нулю, так как машина генерирует э. д. с. только прямой последовательности. Иначе говоря,

$$\dot{E}_{A_2} = 0 = i_{A_2} X_2 + \dot{U}_{A_2} = i_{A_2} X_2 - \frac{\dot{U}_B}{3}; \quad (5)$$

$$\dot{E}_{A_0} = 0 = i_{A_0} X_0 + \dot{U}_{A_0} = i_{A_0} X_0 + \frac{2}{3} \dot{U}_B. \quad (6)$$

В наших выводах мы полагаем омическое сопротивление равным нулю, как это обычно и принято для синхронных машин.

Из уравнения (6) мы можем определить реактанс нулевой последовательности  $X_0$ :

$$X_0 = \frac{2\dot{U}_B}{3i_{A_0}}. \quad (7)$$

Из уравнения (5) находим, что реактанс обратной последовательности

$$X_2 = \frac{\dot{U}_B}{3i_{A_2}}. \quad (8)$$

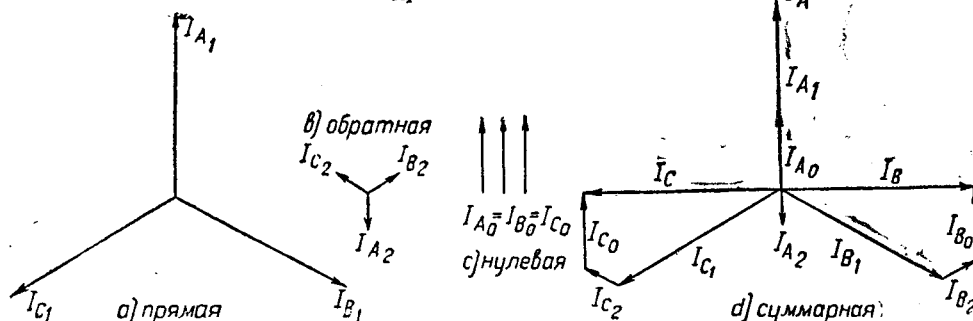


Рис. 3. Схемы токов двухполюсного и однополюсного машин

Те же уравнения (5) и (6) позволяют сделать весьма важное заключение — падение напряжения от тока обратной последовательности равно половине падения напряжения от тока нулевой последовательности:

$$i_{A_2} X_2 = -\frac{i_{A_0} X_0}{2}.$$

Знак минус показывает, что токи обратной и нулевой последовательности имеют различные направления.

Кроме того, мы видим, что падение напряжения от тока обратной последовательности равняется трети напряжений между нулем и местом двухполюсного к. з.:

$$i_{A_2} X_2 = \frac{U_B}{3} = \frac{U_C}{3}.$$

Найдем падение напряжения от тока прямой последовательности

$$i_{A_1} X_1 = \dot{E}_{A_1} - \frac{\dot{U}_B}{3}, \quad (1)$$

откуда находим, что реактанс прямой последовательности

$$X_1 = \frac{\dot{E}_{A_1} - \frac{\dot{U}_B}{3}}{i_{A_1}}. \quad (1)$$

На рис. 2 представлена векторная диаграмма токов и напряжений при двухполюсном с однополюсным к. з., а на рис. 3 показаны отдельно системы токов этого к. з. На этих рисунках  $i_A$ ,  $i_B$  и  $i_C$  — токи в фазах  $A$ ,  $B$  и  $C$ ;  $i_{A_1}$ ,  $i_{A_2}$  и  $i_{A_0}$  — токи прямой, обратной и нулевой последовательности. Так как мы принимаем омическое сопротивление статора равным нулю, ток  $i_{A_0}$  должен отставать на  $90^\circ$  от генерируемой э. д. с.  $\dot{E}_{A_1}$ , а падения напряжений отставать на  $90^\circ$  от соответствующих токов. Из диаграмм мы можем наглядно получить все ранее выведенные уравнения.

Таким образом из одного опыта двухполюсного с однополюсным к. з. мы нашли значения реактансов всех трех последовательностей.

Кроме простоты, этот способ обладает еще одним преимуществом: он наиболее безопасен в отношении нагрева ротора. Известно, что при несимметричных к. з. наибольшую опасность для нагрева ротора представляет ток обратной последовательности. Поток, создаваемый этим током, пересекает ротор с двойной частотой и индуцирует в массивных частях ротора значительные токи Фуко, нагрев которых может достигнуть опасной величины для ротора. Поэтому весьма желательными являются те опыты, при которых, не снижая точности замеров, ток обратной последовательности был бы по возможности меньше. В предлагаемом методе этот ток для современных турбогенераторов будет меньше, чем при других к. з. (при одном и том же токе в фазах). Действительно, в современных турбогенераторах, где реактанс обратной последовательности  $X_2$  больше  $X_0$ , ток обратной последовательности  $i_{A_2}$  должен быть значительно меньше тока  $i_{A_0}$ , как это явствует из уравнения (9):

$$\frac{2i_{A_2}}{i_{A_0}} = \frac{X_0}{X_2}. \quad (12)$$

Если мы возьмем стандартные соотношения, например, для генераторов «Электросилы», для которых  $X_0 = 0,06$  и  $X_2 = 0,15$ , то в этом случае ток обратной последовательности

$$i_{A_2} = i_{A_0} \frac{0,06}{0,15 \cdot 2} = 0,2 i_{A_0}.$$

Так как в свою очередь  $i_{A_0}$  равен трети тока фазы  $A$ , ток обратной последовательности при доведении во время опыта тока фазы  $A$  до номинального будет:

$$i_{A_2} = 0,066 i_{\text{ном}} \approx 7\% i_{\text{ном}},$$

т. е. меньше принятой безопасной величины.

Для турбогенераторов европейского типа (однослойная обмотка с этажным расположением лобовых частей) это соотношение будет

сколько больше. Если взять средние значения  $X_2$  и  $X_0$  для этих турбогенераторов, полученные по опытам ВЭИ, а именно:  $X_2 = 0,20$  и  $X_0 = 0,15$ , то и тогда ток

$$I_{A_2} = I_{A_0} \frac{0,15}{2 \cdot 0,20} = \frac{3}{8} I_{A_0} = \frac{1}{8} I_A = 12,5\% I_A.$$

Таким образом и для этих генераторов в опыте к. з. ток фазы А может быть почти равен номинальному.

Уравнения (7), (8) и (11), определяющие реактансы  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_0$ , можно упростить, выразив токи  $I_{A_1}$ ,  $I_{A_2}$  и  $I_{A_0}$  через устанавливаемые непосредственно при опыте токи  $I_A$  и  $I_B$ .

Так как [уравнения (2)]  $I_A = 3I_{A_0}$ ,

$$X_0 = \frac{2U_B}{3I_{A_0}} = \frac{2U_B}{I_A}. \quad (13)$$

Реактанс обратной последовательности, учитывая, что

$$3I_{A_2} = \sqrt{3}I_B - I_A, \quad X_2 = \frac{U_B}{3I_{A_2}} = \frac{U_B}{\sqrt{3}I_B - I_A}. \quad (14)$$

Наконец, принимая во внимание [уравнения (2)], что

$$I_{A_1} = \frac{I_A + \sqrt{3}I_B}{3},$$

находим

$$X_1 = \frac{E_{A_1} - \frac{U_B}{3}}{I_{A_1}} = \frac{3E_{A_1} - U_B}{I_A + \sqrt{3}I_B}. \quad (15)$$

Практически определение реактанцев производится следующим образом:

1. Снимается по схеме рис. 1 характеристика двухполюсного с однополюсным к. з. и при этом замеряются: ток однополюсного к. з.  $I_A$ ; двухполюсного  $I_B$  или  $I_C$ ; напряжение к. з.  $U_B$  или  $U_C$  и ток возбуждения  $i_{возб}$ .

2. Определяют по формуле (13) реактанс нулевой последовательности  $X_0$ , а по формуле (14) обратной последовательности  $X_2$ .

3. По характеристике холостого хода находят э. д. с., соответствующую току  $i_{возб}$ .

4. Подсчитывают по формуле (15) реактанс прямой последовательности  $X_1$ .

В качестве иллюстрации приводим определение реактанцев синхронного генератора с выступающими полюсами со следующими данными: мощность 110 kVA; напряжение 230 В; ток 276 А;  $\cos \varphi = 0,8$ ; число оборотов 750.

По схеме рис. 1 был осуществлен опыт к. з. двухполюсного с однополюсным. Во время этого опыта ток фазы А был доведен до номинального —  $I_A = 276$  А. При этом были измерены следующие величины:  $I_B = I_C = 194$  А;  $U_B = U_C = 9$  В;  $i_{возб} = 5$  А.

Найденному току возбуждения соответствует по характеристике холостого хода (прямолинейная часть) э. д. с.  $E_{A_1} = 91$  В.

Реактанс нулевой последовательности

$$X_0 = \frac{2 \cdot 9 \sqrt{3} \cdot 100}{230} = 13,6\%,$$

$X_0$ , определенный другим методом, оказался равным 14%. Реактанс

$$X_2 = \frac{9 \cdot 276 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{(\sqrt{3} \cdot 194 - 276) \cdot 230} = 31,1\%.$$

Подсчет другим методом дал  $X_2 = 30\%$ . Реактанс прямой последовательности

$$X_1 = \frac{(3 \cdot 91 - 9) \cdot 276 \cdot \sqrt{3} \cdot 100}{(276 + \sqrt{3} \cdot 194) \cdot 230} = 90\%.$$

$X_1$ , определенный другим методом, оказался равным 92%.

В таблице сопоставлены значения реактанцев, полученные по формулам (13), (14) и (15) настоящей статьи и определенные прежним методом (Райт, Фаллю, Ефремов — Толвинский) для трех синхронных машин.

№ п/п	Т и п	Мощ- ность kVA	Ток А	Напря- жение Е	cos φ	Число оборо- тов	Ток в фазе А	Ток в фазе В А	Напря- жение к. з. V	Ток ротора <i>i</i> <sub>возб</sub> А	Э. д. с. холостого хода соот- ветствующая <i>i</i> <sub>возб</sub> А	X <sub>0</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>1</sub>	
												%					
												новая фор- мула	преж- няя фор- мула	новая фор- мула	преж- няя фор- мула	новая фор- мула	преж- няя фор- мула
1	Генератор с выступаю- щими полю- сами . . . .	110	276	230	0,8	750	276	194	9	5	91	13,6	14,0	31,1	30	90	92
2	Турбогенера- тор . . . .	750	825	525	0,8	8000	825	790	45	42,5	396	29,7	30,6	22,5	23,6	1,42	145
3	Турбогенера- тор . . . .	1250	1310	525	0,8	8000	1310	1160	24	40	555	15,8	16,5	14,3	14,3	122	11

Как видим, значения реактанцев, полученные по новым и прежним формулам, достаточно совпадают друг с другом. Возможность обходиться одним опытом вместо трех для определения реактанцев всех трех последовательностей, безопасность проведения этого опыта по сравнению с дру-

гими видами к. з. (в отношении нагрева ротора), а также меньшее искажение кривой напряжения (в связи с небольшой величиной составляющей обратного тока) — все это дает основание рекомендовать этот опыт для экспериментального определения реактанцев синхронных машин.

# Улучшение коммутации однофазного серийного коллекторного двигателя нормальной частоты

NEW IMPROVEMENTS RELATING TO COMMUTATION OF STANDARD FREQUENCY (50 Hz) SINGLE-PHASE COMMUTATOR MOTOR WITH SERIES CHARACTERISTIC

Л. М. Шильдинер

ВЭИ

В НАШЕЙ статье, опубликованной в журнале «Электричество» № 5, 1936 г., рассматривался пуск однофазного коллекторного двигателя с помощью ртутного выпрямителя для устранения специфических затруднений с коммутацией этого двигателя и там же указывалось, что наибольшие затруднения с коммутацией двигателя возникают в период его пуска. Это также подтверждается авторами статьи<sup>1</sup> «Современные однофазные моторы для электрической тяги», в которой они отмечают, что в деле «развития однофазного мотора наибольшие усилия были затрачены на улучшение коммутации при пуске». Кроме того, авторы указывают, что заботы об улучшении коммутации при пуске, к счастью, также привели к ее улучшению при рабочем ходе двигателя. Действительно, пусковые условия вынудили ограничить величину трансформаторной э. д. с., и поэтому создалась возможность применить простой способ для компенсации этой э. д. с. при рабочем ходе двигателя.

В проводимой нами работе, главная цель которой — создать коллекторный двигатель для тяги с высоким значением трансформаторной э. д. с.<sup>2</sup> (и с вытекающими преимуществами такого двигателя), необходимо было решить задачу — надлежащей компенсации этой э. д. с. при рабочем ходе мотора. Эта проблема и является темой статьи.

Напомним, что расчетная величина трансформаторной э. д. с. (при номинальном режиме) для нормальных коллекторных двигателей пониженной частоты, работающих непрерывно на переменном токе, не должна превосходить 2,5—3 В. Это значение установлено американской<sup>3</sup> и европейской<sup>4</sup> долготелней практикой. Кратковременное значение трансформаторной э. д. с. при пуске не должно превысить 3—4 В.

Содержание проблемы. Для хорошей коммутации однофазного коллекторного двигателя, как известно, следует в зоне коммутации создать индукцию  $\vec{B}_d$ , одна составляющая ко-

торой изменяется пропорционально току  $\vec{I}$  и совпадает с ним по фазе, а другая — пропорционально магнитному потоку  $\Phi$  и сдвинута относительно него на  $90^\circ$ . Кроме того, вторая составляющая индукции под дополнительным полюсом должна изменяться обратно пропорционально числу оборотов двигателя.

В общем виде индукция под дополнительным полюсом выражается следующим образом:

$$\vec{B}_d = k' \vec{I} + j \frac{k_1}{n} \Phi, \quad (1)$$

где  $\vec{I}$  — ток мотора,  $k'$  и  $k_1$  — постоянные коэффициенты,  $\Phi$  — магнитный поток главных полюсов мотора и  $n$  — число оборотов мотора в минуту.

Известно, что без применения добавочных устройств невозможно создать индукцию  $-\vec{B}_d$ , изменяющуюся по величине и по фазе, для обеспечения удовлетворительной компенсации реактивной и трансформаторной э. д. с. в коммутируемом витке. Если создание в зоне коммутации составляющей индукции  $\vec{B}_r$ , компенсирующей реактивную э. д. с., не встречает особых затруднений, то совершенно по-иному обстоит дело с составляющей индукции  $\vec{B}_t$ , составляющей для компенсации трансформаторной э. д. с.

Это легко выяснить, если обратиться к рассмотрению векторной диаграммы коллекторного двигателя для различных режимов работы (рис. 1). На рисунке приняты следующие обозначения:  $\vec{E}_{b1}$  — напряжение на зажимах катушек главных полюсов и компенсационных обмоток;  $\vec{E}_{b2}$  э. д. с. — рассеяния якоря;  $\vec{E}_r$  — э. д. с. вращения двигателя;  $\vec{U}$  — напряжение на зажимах мотора;  $\vec{e}_t$  — трансформаторная э. д. с.;  $\vec{e}_r$  — реактивная и  $\vec{e}_k$  суммарная э. д. с. в коммутируемом витке.

Действительно, для получения составляющей индукции  $\vec{B}_r$  (по величине и по фазе), компенсирующую реактивную э. д. с., достаточно, например<sup>5</sup>, к одной катушке добавочных полюсов приложить напряжение, совпадающее с вектором  $\vec{E}_{b1}$ . Для возбуждения другой составляющей индукции  $\vec{B}_t$ , компенсирующей трансформаторную э. д. с., требуется к другой катушке приложить напряжение, совпадающее с вектором  $\vec{E}_r$ , и величина которого изменяется обратно пропорционально оборотам якоря. Но вектор  $\vec{E}_r$ , к сожалению, обладает как раз обратным свойством — он изменяется прямо пропорционально оборотам двигателя (при  $\vec{I} = \text{const}$ ). Следовательно, в самом двигателе не находим решения для улучшения его коммутации.

Кроме того, известно, что если применить для возбуждения полюсов отдельные катушки, то из-за существующей между ними трансформаторной связи невозможно добиться надлежащего эффекта от каждой катушки в отдельности. Разного рода меры, которые были предложены для уменьшения трансформаторного взаимовлияния между катушками, не помогли радикально решить эту задачу.

Таким образом вырисовывается, что для достижения правильной коммутации в однофазном коллекторном двигателе нужно преодолеть два основных затруднения: а) во-первых, создать в зоне коммутации составляющую индукцию  $\vec{B}_t$ , которая изменялась бы обратно пропорционально оборотам двигателя, для надлежащей компенсации трансформаторной

<sup>5</sup> Допустим, что можно употребить две отдельные катушки на дополнительном полюсе и пренебречь их взаимои-

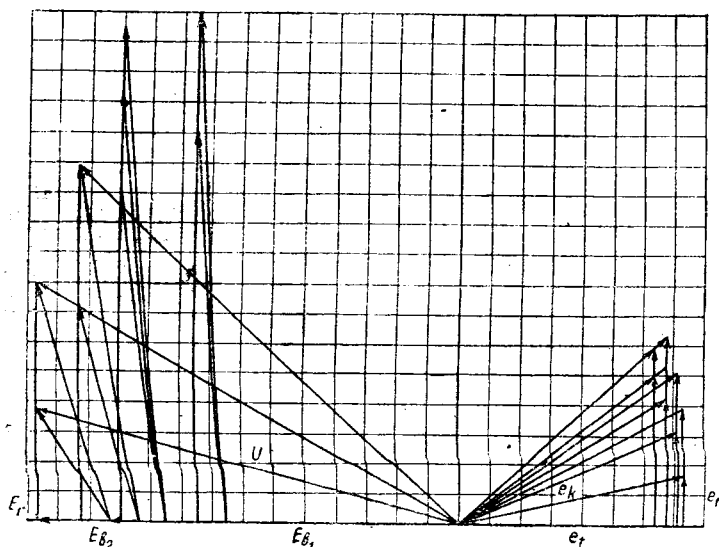


Рис. 1

э. д. с., и б) во-вторых, обеспечить в зоне коммутации другую составляющую  $B_r$ , компенсирующую реактивную э. д. с., без применения двух отдельных катушек на дополнительном полюсе.

Чтобы совершенно избавиться от забот, связанных с расположением двух отдельных катушек на дополнительном полюсе, следует применить лишь одну катушку для возбуждения добавочных полюсов. При одной катушке уменьшается пространство, занимаемое в моторе катушками дополнительных полюсов<sup>6</sup>.

**Решение задачи.** Рассмотрим возможные решения, рекомендовавшиеся в разное время, и в частности найденное нами решение для улучшения коммутации в однофазных коллекторных двигателях. Напомним, что предложенные средства для улучшения коммутации могут быть разделены на два класса: к первому следует отнести разные способы воздействия на коммутируемый виток в частности посредством поля дополнительных полюсов, а ко второму — различные соединения омических сопротивлений с витком, находящимся в процессе коммутации.

Начнем с рассмотрения способов первого класса и для лучшего выяснения задачи опять вернемся к векторной диаграмме (рис. 1). Выше уже указывалось, что главная трудность с коммутацией заключается в том, что невозможно в зоне коммутации создать надлежащую составляющую индукции  $\vec{B}_i$  для компенсации трансформаторной э. д. с.

Компенсация реактивной э. д. с. особым трудностей не встречает. Из векторной диаграммы видно, что для правильной коммутации реактивной и трансформаторной э. д. с.

необходимо создать вектор суммарной индукции  $\vec{B}_d$ , который убывал бы по величине при возрастании числа оборотов двигателя. Кроме того, вектор  $\vec{B}_d$  должен поворачиваться в обратную сторону относительно поворота вектора  $\vec{U}$  (принимая, что вектор  $\vec{i}$  неподвижен). Отсюда ясно, что способ с шунтировкой обмотки дополнительных полюсов омическими сопротивлениями не обеспечивает нужного

изменения вектора  $\vec{B}_d$ . Этот способ нельзя считать удовлетворительным решением, особенно при больших значениях э. д. с. трансформации и малых оборотах двигателя. Кроме того, в шунтирующих омических сопротивлениях имеют место потери, которые сильно возрастают в коллекторных двигателях на 50 Hz, достигая в схемах с последними 8—10% общей мощности моторов.

Другой способ — воздействие на коммутируемый виток полем дополнительных полюсов, был предложен Латуром и несколько видоизменен инж. Бенедиктом. Последний для схемы Латура применил статор одного опытного мотора Сименса. Однако предложение Латура также не помогло решить задачу улучшения коммутации<sup>7</sup>, причем оно при-

<sup>6</sup> Предположение о возможности улучшения коммутации в однофазном коллекторном двигателе посредством «ступенчатой компенсации» за счет изменения ступенями индукции под дополнительными полюсами не выдерживает критики. Совершенно очевидно, что рационально было бы создавать желаемые ступени соответствующим изменением сопротивлений в цепях дополнительных полюсов, и эти изменения производить одновременно с переключением контакторов. Контактные же, как известно, присоединены к определенным ответвлениям трансформатора и каждый из них имеет строго фиксированный потенциал. Поэтому, если включением каких-либо контакторов подводится определенное напряжение к мотору, то может случиться, что не будет надлежащего соответствия между подведенным напряжением и теми сопротивлениями, которые включаются контакторами в цепь дополнительных полюсов. Действительно, при одной и той же величине приложенного напряжения к мотору может иметь место большое изменение числа оборотов якоря и колебания тока как по величине, так и по фазе.

Для правильной коммутации в коллекторных однофазных серийных двигателях как раз имеют решающее значение соответствия между приложенным напряжением к мотору  $\vec{U}$ , числом оборотов якоря  $n$ , силой тока  $\vec{i}$  и индукцией  $\vec{B}_d$  под дополнительными полюсами. Само собой понятно, что между указанными векторами  $\vec{U}$ ,  $\vec{i}$  и  $\vec{B}_d$  должно также соблюдаться правильное взаимоположение по фазе.

<sup>7</sup> См. Arnold, B. V, S. 567.

водит к очень громоздкой и сложной схеме, особенно в дополнении инж. Бенедикта.

В начале развития коллекторных двигателей предлагались и другого порядка меры для улучшения коммутации, например разного рода соединения омических сопротивлений с коммутируемым витком. Предложено было включать омическое сопротивление между секциями якоря и коллекторными пластинами (Lampie, 1902) или же омическое сопротивление включить между слоями разрезанной щетки (Dunlap, 1888).

Первый способ одно время нашел распространение, но практика выявила большие его недостатки. Известно, например, что американские электровозы серии 076—0111 были оборудованы коллекторными моторами со включенными омическими сопротивлениями между обмоткой якоря и коллекторными пластинами. Эксплуатация этих моторов показала, что коммутация протекает вполне удовлетворительно при трогании электровоза и ухудшается по мере того, как скорость электровоза возрастает до 20 km/h. Эти явления уже давно получили теоретическое объяснение (Рихтер Шенфер и др.). Второй способ, по которому рекомендовалось включить омическое сопротивление между слоями разрезанной щетки, не вышел из стадии опытов до настоящего времени.

Общеизвестно, что наилучшим способом улучшения коммутации в однофазных коллекторных двигателях, это — компенсация э. д. с. в коммутируемом витке с помощью добавочных полюсов. Это положение со всей силой подчеркивает инж. Треттин, указывающий, что «все машины постоянного тока и большая часть коллекторных машин переменного тока достигли настоящей стадии своего развития благодаря изобретению добавочных полюсов» и «коллекторные машины переменного тока, особенно серийные однофазные моторы для работы на ширококолейной железной дороге, стали вообще возможны лишь благодаря добавочным полюсам». (Курсив наш: — Л. Ш.)

Теперь рассмотрим предложенную нами схему (рис. 2) для улучшения коммутации в однофазных коллекторных двигателях. В этой схеме приняты следующие обозначения: 1 — обмотки возбуждения главных полюсов двигателя; 2 — якорь двигателя; 3 — компенсационная обмотка двигателя; 4 — обмотка дополнительных полюсов двигателя; 5 — вспомогательный трансформатор; 6 — шунтовый коллекторный генератор; 7 — обмотка возбуждения главных полюсов шунтового коллекторного генератора.

С целью упрощения и лучшего выяснения принципа действия этой схемы рассмотрим сначала процесс компенсации одной только трансформаторной э. д. с. Для решения этой задачи требуется питать катушки дополнительных полюсов током  $\vec{i}_t$ , который должен создать индукцию  $\vec{B}_t$ , изменяющуюся обратно пропорционально оборотам двигателя и по фазе сдвинутую на 90° относительно главного тока<sup>8</sup>.

Очевидно, что нужно к катушке дополнительного полюса подвести напряжение, совпадающее по направлению с э. д. с.

вращения мотора  $\vec{E}_r$ . Но остается решить еще и вторую часть рассматриваемой задачи — ток  $\vec{i}_t$  должен убывать при возрастании числа оборотов двигателя. Для достижения надлежащего изменения  $\vec{i}_t$  нами добавляется вспомогательный генератор.

Работу вспомогательного генератора легко выяснить из рис. 2, из которого видно, что магнитный поток главных полюсов этого генератора совпадает по фазе с потоком главных полюсов мотора, и поэтому э. д. с. вращения обеих машин совпадают по фазе. Поддерживая постоянное число оборотов вспомогательного генератора и оставляя неизменным поток его главных полюсов, мы сохраняем посто-

<sup>8</sup> Катушки дополнительных полюсов представляют не что иное, как дроссели, и если пренебрегать их омическим сопротивлением, то можно принять, что ток этих катушек сдвинут на 90° по отношению к приложенному напряжению.

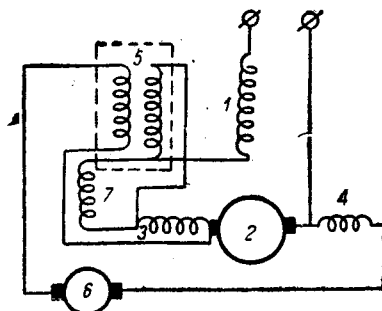


Рис. 2

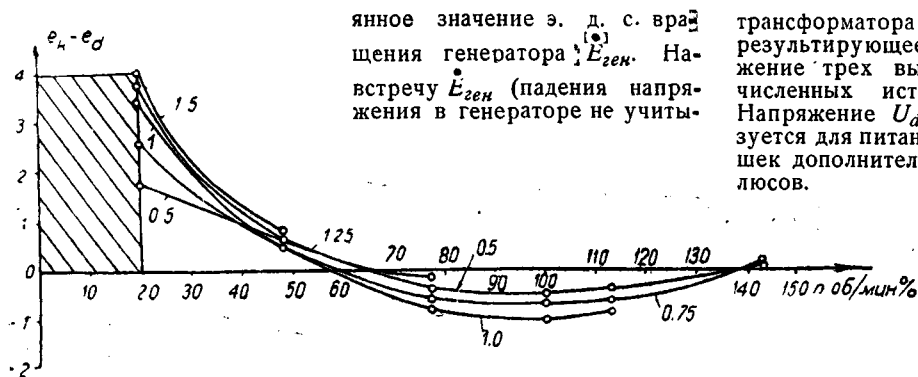


Рис. 3

ваются) включается э. д. с. вращения мотора  $\dot{E}_r$ , которая изменяется прямо пропорционально числу оборотов двигателя, поэтому  $\dot{E}_{ген} - \dot{E}_r$  — разность этих э. д. с. будет убывать при возрастании оборотов мотора и неизменном значении магнитных потоков генератора и мотора, т. е.

$$\dot{U}_d = \dot{E}_{ген} - \dot{E}_r. \quad (2)$$

Таким образом мы получили убывающее по величине напряжение  $\dot{U}_d$ , необходимое для питания катушек дополнительных полюсов.

При условии, когда поток главных полюсов  $\Phi$  постоянен, теоретическая формула для  $B_t$  выражается уравнением равнобочной гиперболы, отнесенной к асимптомам:

$$B_t = \frac{A}{n}, \quad (3)$$

где  $A$  — постоянный коэффициент. В нашей схеме  $I_t$  изменяется пропорционально  $\dot{U}_d$ , т. е. ток в катушке дополнительных полюсов для компенсации трансформаторной э. д. с. убывает по закону прямой при возрастании числа оборотов якоря. Таким образом при определенных соотношениях  $\dot{E}_{ген}$  и  $\dot{E}_r$  в широком диапазоне колебаний оборотов якоря получается такое изменение тока  $I_t$ , которое (в рассматриваемом диапазоне) довольно близко к формуле (3) и в достаточной мере отвечает поставленным требованиям. Последнее иллюстрируется рис. 3, где приведены кривые недокомпенсации и перекомпенсации суммарной э. д. с. (реактивной и трансформаторной) в коммутируемом витке в функции оборотов двигателя с учетом изменения его нагрузки. При малых оборотах двигателя изменение  $I_t$  и, следовательно,  $B_t$  происходит медленнее, чем это следует из уравнения (3). Нужно признать это желательным явлением, так как при низких оборотах якоря не требуется, чтобы первоначальное значение  $I_t$  претерпевало такое сильное изменение, которое получается из уравнения гиперболы. Первоначальное значение  $I_t$  устанавливается для самых низких оборотов двигателя, при которых он начинает питаться переменным током и в этот момент  $I_t$  имеет максимальное значение. Последнее также зависит от начальной нагрузки мотора. Заметим, что кривая на рис. 3 построена для одного рассчитанного варианта; ниже мы поясним, каким способом она была получена.

Рис. 4 представляет векторную диаграмму рассматриваемой схемы, причем здесь включена составляющая индукции  $\dot{B}_r$ , компенсирующая реактивную э. д. с. Для создания указанной индукции к обмотке дополнительного полюса подводится соответствующее напряжение посредством вспомогательного трансформатора 5. Таким образом катушки дополнительных полюсов мотора получают питание от трех источников — генератора, трансформатора и мотора.

Эти машины включены последовательно и их соединение скомбинировано таким образом, чтобы обеспечить надлежащее изменение тока в цепи дополнительных полюсов для достижения требуемой компенсации трансформаторной и реактивной э. д. с. в коммутируемом витке.

На рис. 4 приняты следующие обозначения:  $\dot{E}_{ген}$  и  $\dot{E}_r$  — э. д. с. вращения генератора и мотора,  $\dot{E}_{тр}$  — напряжение

трансформатора 5 и  $\dot{U}_d$  — результирующее напряжение трех вышеперечисленных источников. Напряжение  $\dot{U}_d$  используется для питания катушек дополнительных полюсов.

Рис. 4 иллюстрирует изменение вектора  $\dot{U}_d$  по величине и по фазе, причем этот вектор поворачивается в направлении, противоположном направлению вращения вектора напряжения  $\dot{U}$  (рис. 1).

Выбор соотношения нагрузок и соответствующих диапазонов оборотов сделан на основании данных, опубликованных в журнале *Siemens Zeitschrift* (рис. 5)<sup>10</sup>.

В нашем примере было принято: 1) до 20% своей скорости мотор питается постоянным током; 2) от 20 до 28% скорости нагрузка мотора равна 150%; 3) 48 — 77% нагрузка — 125%; 4) 77 — 113% мотор работает с номинальной нагрузкой и 5) от 113 до 143% своей скорости мотор работает с нагрузкой 75% и ниже. При скоростях мотора выше 20% он питается переменным током.

На рис. 1 также дана векторная диаграмма э. д. с. в коммутируемом витке. Диаграмма также построена на основании вышеуказанных изменений нагрузки мотора для соответствующих его диапазонов оборотов. Для каждой нагрузки с помощью кривой намагничивания мотора определялась  $e_r$ , а для определения  $e_r$ , естественно, учитывались и соответствующие обороты якоря. Пользуясь кривой намагничивания для зоны коммутации, мы находили по действующим значениям ампервитков индукцию  $B_d$ .

Для каждой нагрузки и соответствующего диапазона оборотов якоря, зная  $B_d$ , легко определить компенсирующую э. д. с.  $e_d$ .

Для понижения напря-

<sup>10</sup> № 7 (июль), 1935.

<sup>10</sup> Векторная диаграмма рис. 1 также построена на основании этих же данных.

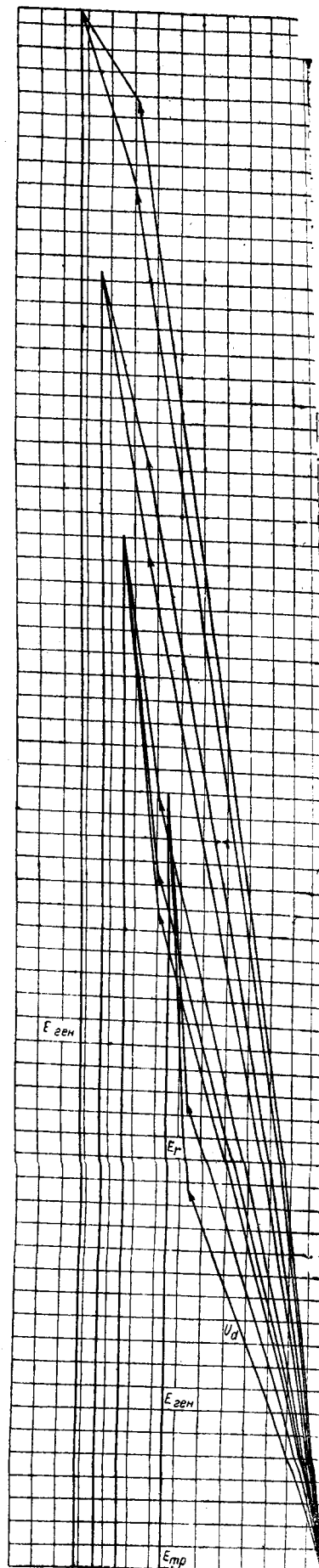


Рис. 4

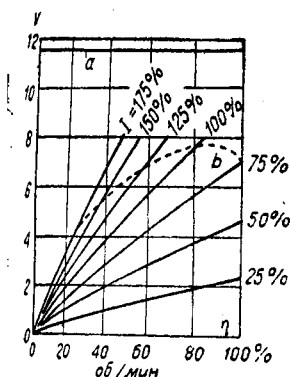


Рис. 5

а — наибольшее значение реактивной  
в. д. с., б — предельные нагрузки

изучается уже давно, и, очевидно, что следует воспользоваться результатами этой работы для таких же исследований в однофазных коллекторных двигателях на нормальную частоту. Известно, например, что омическое сопротивление, шунтирующее катушки дополнительных полюсов, оказывает благоприятное влияние на коммутацию, уменьшая вредное воздействие высших гармонических в цепи однофазного коллекторного двигателя. Подобного же рода эффекта можно достичь и другими известными мерами.

Коллекторные двигатели на 50 Гц имеют гармонические в три раза более высокого порядка по сравнению с двигателями на  $16\frac{2}{3}$  Гц; 3-я гармоническая в двигателе на  $16\frac{2}{3}$  Гц соответствует 9-й в двигателе на 50 Гц, 5-я гармоническая соответствует 15-й, 7-я—21-й и т. д. Это очень важное обстоятельство, и оно должно учитываться при исследовании вопроса влияния высших гармонических на коммутацию в 50-периодных коллекторных тяговых двигателях. К. Тöf-Flinger<sup>11</sup> доказывает, что гармонические более высокого порядка наиболее опасны и особенно сказываются при больших значениях  $\cos \varphi$ . На рис. 6 дан коэффициент увеличения вредных воздействий различных гармонических в зависимости от  $\cos \varphi$ . Начиная с  $\cos \varphi = 0,8$ , вредное влияние гармонических более высокого порядка очень резко повышается.

<sup>11</sup> ETZ, 1933, стр. 329.

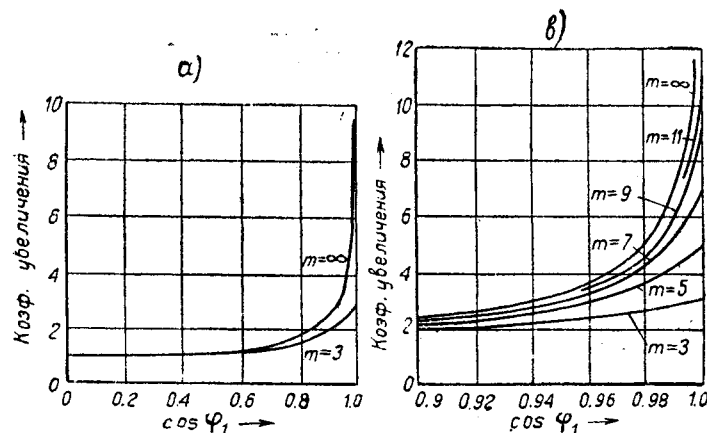


Рис. 6

а — чувствительность однофазного тягового мотора к воздействиям высших гармонических в зависимости от  $\cos \varphi$ ; б — то же, но в другом масштабе

ется. Следовательно, стремление повысить  $\cos \varphi$  для разгрузки трансформатора и линию железнодорожной передачи от реактивных токов находится в прямом противоречии со стремлением создать условия хорошей коммутации. Требуется, очевидно, найти рациональное решение, позволяющее обеспечить удовлетворительное протекание процесса коммутации и одновременно избежать чрезмерных реактивных токов.

В нашей схеме, работающей со вспомогательным мотор-генераторным агрегатом, где синхронный мотор после разгона электроваза работает с большой недогрузкой, можно, очевидно, этот мотор использовать для компенсации  $\cos \varphi$ . Благодаря наличию синхронного мотора в схеме электроваза, возможно обеспечить сравнительно высокое значение  $\cos \varphi$  всей установки при несколько пониженном  $\cos \varphi$  для моторов, причем этот мотор одновременно помогает решить затруднения с коммутацией как при пуске двигателей, так и при нормальной работе тяговых моторов. Таким образом вопрос о  $\cos \varphi$  и связанных с ним коммутационных затруднений в нашей схеме также получает удовлетворительное решение.

Продоланный расчет показывает, что, имея синхронный мотор мощностью 10% от коллекторных моторов, можно в установке повысить  $\cos \varphi$  на 8%.

## Основные соотношения при двойных замыканиях на землю в разных точках

### FUNDAMENTAL RELATIONS FOR SIMULTANEOUS EARTHING-FAULTS AT TWO POINTS IN A SYSTEM

Л. Е. Соловьев

Теплоэлектропроект

В КОМПЕНСИРОВАННЫХ сетях, сетях с изолированной нулевой точкой и нулевой точкой, заземленной через высокоомное сопротивление (например в сетях генераторного напряжения) двойные замыкания на землю в разных точках являются более частым видом повреждения, чем замыкания между двумя и тремя фазами. В связи с этим при проектировании таких сетей важно учесть этот вид повреждения, в особенности при проектировании релейной защиты.

Метод расчета токов при двойных замыканиях на землю в разных точках стал известен сравнительно недавно<sup>1</sup>. Ниже дается более простой вывод основных соотношений электрических величин при этом виде повреждения, чем те, которые опубликованы в настоящее время, с учетом всех факторов, могущих иметь значение с точки зрения поведения релейной защиты, в частности переходного сопротивления в месте повреждения.

<sup>1</sup>Эванс и Вагнер, Метод симметричных составляющих, приложение, составленное Н. Н. Щедриным. Энергоиздат, 1933.

Вывод формул произведен на основании анализа простейшей электрической системы с изолированными нулевыми точками (рис. 1). Однако формулы могут быть применены для электрических систем любой конфигурации.

Если допустить, что в точке М простейшей электрической системы замкнута на землю фаза В и в точке N—фаза С, то симметричные составляющие токов, текущих в месте

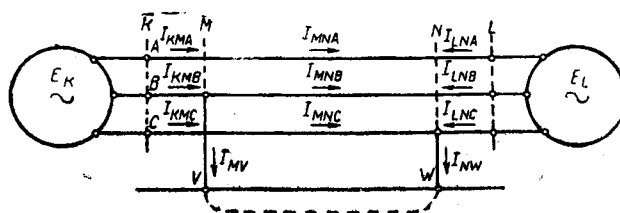


Рис. 1. Схема простейшей электрической системы

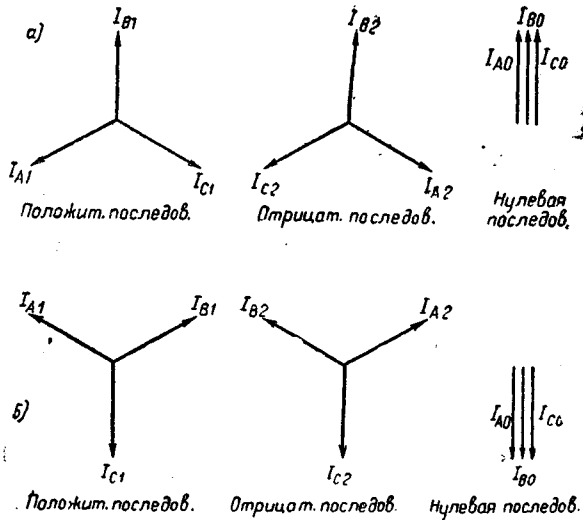


Рис. 2. Векторные диаграммы токов различных последовательностей в местах повреждения. *a* — замыкание на землю фазы *B* (точка *M*); *b* — фазы *C* (точка *N*)

повреждения (от фазы в землю), выразятся следующим образом (рис. 2):

В точке *M* ток в фазах *A* и *C* равен нулю (замкнута на землю фаза *B*) и поэтому

$$\left. \begin{aligned} i_{MV0} &= i_{MV0}, \\ i_{MV1} &= a i_{MV0}, \\ i_{MV2} &= a^2 i_{MV0}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В точке *N* равен нулю ток в фазах *A* и *B* (замкнута на землю фаза *C*). Симметричные составляющие:

$$\left. \begin{aligned} i_{NW0} &= i_{NW0}, \\ i_{NW1} &= a^2 i_{NW0}, \\ i_{NW2} &= a i_{NW0}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Токи отдельных последовательностей, притекающие к точкам *M* и *N*, учитывая уравнения (1) и (2), выражаются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} i_{NW0} &= i_{MN0}, \\ i_{LN1} + i_{MN1} &= i_{NW1} = a^2 i_{MN0}, \\ i_{LN2} + i_{MN2} &= i_{NW2} = a i_{MN0}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{MV0} &= -i_{MN0}, \\ i_{KM1} - i_{MN1} &= i_{MV1} = -a i_{MN0}, \\ i_{KM2} - i_{MN2} &= i_{MV2} = -a^2 i_{MN0}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

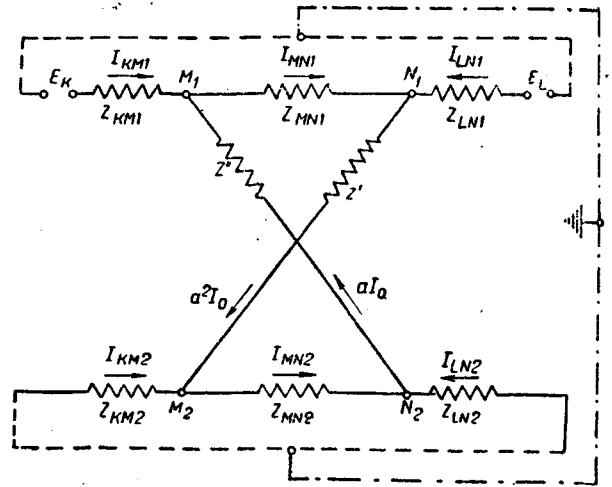


Рис. 3. Схема замещения простейшей электрической системы (рис. 1) при двойном замыкании на землю в точках *M* и *N*

Падение напряжения положительной, отрицательной и нулевой последовательностей между точками *M* и *N*:

$$i_{MN1} Z_{MN1} = \dot{U}_{M1} - \dot{U}_{N1}, \quad (5)$$

$$i_{MN2} Z_{MN2} = \dot{U}_{M2} - \dot{U}_{N2}, \quad (6)$$

$$i_{MN0} Z_{MN0} = \dot{U}_{M0} - \dot{U}_{N0}. \quad (7)$$

Падение напряжения на участках *KM* и *LN*:

$$\dot{E}_K - \dot{U}_{M1} = i_{KM1} Z_{KM1}, \quad (8)$$

$$\dot{E}_L - \dot{U}_{N1} = i_{LN1} Z_{LN1}, \quad (9)$$

$$-\dot{U}_{M2} = i_{KM2} Z_{KM2}, \quad (10)$$

$$-\dot{U}_{N2} = i_{LN2} Z_{LN2}. \quad (11)$$

На основании уравнений (3)–(11) можно написать:

$$\dot{U}_{M1} = \dot{E}_K + Z_{KM1} (a i_{MN0} - i_{MN1}), \quad (12)$$

$$\dot{U}_{N1} = \dot{E}_L - Z_{LN1} (a^2 i_{MN0} - i_{MN1}), \quad (13)$$

$$\dot{U}_{M2} = Z_{KM2} (a^2 i_{MN0} - i_{MN2}), \quad (14)$$

$$\dot{U}_{N2} = Z_{LN2} (-a i_{MN0} + i_{MN2}). \quad (15)$$

Так как напряжения поврежденных фаз в месте замыкания на землю равны падению напряжения в переходных сопротивлениях  $R_n$ ,

$$\dot{U}_{MB} = \dot{U}_{M0} + a^2 \dot{U}_{M1} + a \dot{U}_{M2} = -3 i_{MN0} R_n, \quad (16)$$

$$\dot{U}_{NC} = \dot{U}_{N0} + a \dot{U}_{N1} + a^2 \dot{U}_{N2} = 3 i_{MN0} R_n. \quad (17)$$

Девять независимых уравнений (5), (6), (12), (13), (14), (15), (16) и (17) представляют систему с девятью неизвестными:  $\dot{U}_{M1}$ ,  $\dot{U}_{M2}$ ,  $\dot{U}_{M0}$ ,  $\dot{U}_{N1}$ ,  $\dot{U}_{N2}$ ,  $\dot{U}_{N0}$ ,  $i_{MN1}$ ,  $i_{MN2}$  и  $i_{MN0}$ .

Решая эти уравнения относительно  $i_{MN0}$ , можно получить следующее соотношение:

$$i_{MN0} = i_{M0} = -i_{N0} = \frac{-\frac{\dot{E}_K}{Z_1} [a^2 Z_{MN1} + (a^2 - a) Z_{LN1}] + \frac{\dot{E}_L}{Z_1} [a Z_{MN1} - (a^2 - a) Z_{KM1}]}{Z_{MN0} + 6R_n + 3 \frac{Z_{KM1} Z_{LN1}}{Z_1} + 3 \frac{Z_{KM2} Z_{LN2}}{Z_2} + \frac{Z_{MN1}}{Z_1} (Z_{KM1} + Z_{LN1}) + \frac{Z_{MN2}}{Z_2} (Z_{KM2} + Z_{LN2})}, \quad (18)$$

где:

$$Z_1 = Z_{KM1} + Z_{MN1} + Z_{LN1}, \quad (19)$$

$$Z_2 = Z_{KM2} + Z_{MN2} + Z_{LN2}.$$

Если принять, что  $\dot{E}_K = \dot{E}_L = \dot{E}$  и  $Z_1 = Z_2$ , то уравнение (18) значительно упростится:

$$i_{MN0} = \frac{j \sqrt{3} Z_1 \dot{E}}{(Z_{MN0} + 6R_n) Z_1 + 6 Z_{KM1} Z_{LN1} + 2 Z_{MN1} (Z_{KM1} + Z_{LN1})}. \quad (20)$$



Уравнения (3) и (4) позволяют построить схему замещения, поясняющую, как происходит токораспределение при двойных замыканиях на землю в разных точках. Из этих уравнений следует, что в точке  $N$  схемы замещения положительной последовательности (в точке  $N_1$ ) ответвляется ток  $a^2 I_{MN_0}$ ; этот же ток притекает к точке  $M$  схемы отрицательной последовательности (к точке  $M_2$ ). Таким образом если соединить точки  $N_1$  и  $M_2$  друг с другом через некоторый импеданс  $Z'$ , то токораспределение в этих точках будет удовлетворять условиям, выраженным уравнениями (3) и (4). Аналогично можно соединить точки  $N_2$  и  $M_1$  через некоторый импеданс  $Z''$ , причем в нем будет протекать ток  $a I_{M_0}$ .

Импеданс  $Z'$  и  $Z''$  должны удовлетворять следующим условиям:

$$Z' a^2 I_{MN_0} = \dot{U}_{N_1} - \dot{U}_{M_2} \quad (21)$$

$$Z'' a I_{M_0} = \dot{U}_{N_2} - \dot{U}_{M_1} \quad (22)$$

Анализ показывает, что импедансы  $Z'$  и  $Z''$  в общем случае изображаются очень сложными уравнениями, зависящими от импеданса всей электрической системы э. д. с. генераторов и тока  $I_{MN_0}$ . Таким образом пользоваться данной схемой для расчетов на столе практически не представляется целесообразным. Однако она дает наглядное представление о „механике“ токораспределения.

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

### О дефектах международного электротехнического словаря

В этой рецензии мы хотим сделать ряд замечаний о некоторых разделах словаря.

К словарю терминов и их определений, каким является международный электро-технический словарь, должны быть предъявлены требования научной обоснованности изложения, строгости, точности, ясности языка.

Приводимые ниже примеры говорят о том, что словарь не удовлетворяет этим требованиям.

Группа 05. Основные определения. Перевод под редакцией проф. П. Л. Калантарова. Вот как определяются скалары, первый термин, обозначение 05—05—005:

«Величины, которые могут быть вполне охарактеризованы одним параметром, т. е. числовым<sup>1</sup> значением, выраженным в соответствующих единицах».

Численное значение нельзя назвать параметром, и вообще параметром нельзя характеризовать физическую величину. Еще неудачнее в конце определения... «числовым значением, выраженным в соответствующих единицах». По нашему мнению, «в соответствующих единицах» может выражаться только сама величина, а не ее численное значение. Встретить такую путаницу тем более странно, что во французском оригинале указанное место изложено правильно.

За скаларом идет «вектор» (05—05—010): «Векторы. Величины, которые помимо числового значения обладают направлением». Нет таких величин, которые «обладали бы численным значением»; им можно только приписывать численные значения, сколько угодно и самые разнообразные, в зависимости от выбранной единицы измерения. А вот направлением, действительно, величины обладать могут. Затем данное определение векторов относится не к векторам, а к векториальным величинам, что не одно и то же. Хотя нередко векториальные величины и называют для краткости просто, векторами, но в образцовом определении это надо считать недопустимым, тем более, что во французском оригинале стоит именно «векториальные величины», а не «векторы».

Сопоставим два определения: «Поле» (05—05—020) и «Напряженность поля» (05—05—025). «Поле» определяется таким образом: «Употребляется иногда вместо термина напряженность поля» (другого определения нет. А. Р.). Далее: «Напряженность поля. Векториальная величина, характеризующая поле в каждой точке». Теперь в последнем определении вместо термина «поле», поставим равнозначный ему термин «напряженность поля», получится вот что: «Напряженность поля. Векториальная величина, характеризующая напряженность поля в каждой точке», т. е. напряженность поля характеризует... напряженность поля.

Переходим к «однородному полю» (05—05—030): «Однородное поле. Поле, напряженность и направление которого одинаковы во всех точках в каждый момент времени». Опять, согласно данному определению, вместо «поле» поставим «напряженность поля», получится вот что: «Однородное поле. Напряженность поля, напряженность

и направление которой одинаковы во всех точках в каждый момент времени», т. е. опять тавтология.

Вот как определяется частота (05—05—175): «Частное от деления целого числа периодов на соответствующий промежуток времени». Найти такое частное невозможно (см. любой курс арифметики).

Вот пример стилистической неряшливости (05—05—250): «Вынужденное колебание. Колебание, период которого задается периодом системы, порождающей колебательный процесс». Что это значит: период задается периодом?

Электрон, отрицательный (положительный) определяется следующим образом (05—10—055 и 05—10—060): «Элементарная частица, содержащая отрицательный (положительный) электрический заряд». Итак, электрон есть частица, но чего не сказано.

Стоит подробнее остановиться на определении электричества (05—15—010): «Физический агент, играющий основную роль в атомном строении материи, и который можно, затратив энергию, разделить на две составляющие, условно называемые положительным и отрицательным электричеством». Прежде всего электричество вовсе не играет основной роли в атомном строении материи. Гипотеза об атомном строении материи существовала еще и тогда, когда об электричестве не имели почти никакого понятия. Для составителей этого определения, очевидно, все равно, что строение атома, что атомное строение материи.

Затем заявление, что электричество можно разделить на две составляющие, положительное и отрицательное, противоречит не только существующим теориям, но и тому, что сказано далее, в самом же словаре, о положительном и отрицательном электричестве (05—15—015): «Электричество, которое образуется (курсив мой А. Р.) соответственно на стекле, натертом шелком, и на смоле, натертой шерстью». «Образуется» и «получается» разделением электричества (какого-то третьего) это не одно и то же.

Далее не все, заслуживающее внимания в этой группе, было здесь отмечено. Переходим к следующей группе.

Группа 10. Машины и трансформаторы. Перевод под редакцией проф. В. А. Толвинского. Начнем с первого определения (10—05—1) «Агрегат. Совокупность генератора электрической энергии и вращающегося его двигателя, который использует не электрический источник энергии». Из определения ясно следует, что в агрегате вращающий двигатель использует какой-нибудь источник энергии (лишь бы не электрический). Возьмем, например, двигатель Дизеля. Этот двигатель сам является источником энергии, никаким еще другим источником не пользуется, и все-таки совокупность: генератор электрической энергии — дизель, называется агрегатом.

«Ветвь обмотки» (10—05—12) определена таким образом: «Совокупность секций коллекторного якоря, которые в данный момент времени находятся в последовательном соединении между двумя щетками разной полярности». Разве обмотки не коллекторного якоря, или вовсе не якоря, не могут иметь ветвей?

<sup>1</sup>численным», конечно, а не «числовым» областная универсальная библиотека

Берем термин: «Обмотка с полным шагом» (10—05—24). Определение его таково: «Барабанная обмотка, у которой средняя ширина равна полюсному делению». Однако, термин: «средняя ширина барабанной обмотки «и» полюсное деление» в словаре отсутствуют.

Компенсационная обмотка (10—05—32) определяется таким образом: «Вспомогательная обмотка, расположенная на машине, или электромагнитном аппарате и предназначенная для уменьшения эффектов различных реакций, которые вызываются токами, проходящими по другим обмоткам». Что такое «электромагнитный аппарат»? В словаре этот термин отсутствует.

Далее: «индуктор» (10—05—34): «Часть электрической машины, предназначенная, главным образом, для создания магнитного потока». Ну а не «главным образом» для чего еще индуктор предназначается?

Якорь (10—05—35) определяется следующим образом: «Совокупность обмотки якоря и части, несущей ее». Понятие «якорь» определяется через якорь же: якорь есть совокупность обмотки якоря и части, несущей ее. Это не только не точно, это просто недопустимо. Отсюда для «обмотки якоря» получится вот что: обмотка якоря есть обмотка совокупности обмотки якоря и части, несущей ее.

Трансформатор (10—25—1) определяется так: «Статический индукционный аппарат... В индексе, однако, нет указания ни на «индукционный», ни на «статический» аппарат. Отсутствуют эти термины и в тексте.

Определение автотрансформатора (10—25—4): «Трансформатор, у которого первичная и вторичная обмотки имеют общие части». Можно найти сколько угодно определений автотрансформатора, где сказано, что автотрансформатор есть трансформатор с одной только обмоткой.

«Делитель напряжения» (10—25—11): «Устройство, составленное из самоиндукций, образующих автотрансформатор, обмотки которого...» и т. д. (10—25—11). Итак, автотрансформатор (т. е. вещь, иногда весьма солидного веса) оказывается образован самоиндукциями, т. е. физическими явлениями, как это следует из данного в самом же словаре определения самоиндукции: «Индукция цепи на самое себя» (05—30—090). Другого определения этого термина в словаре нет.

Последовательное возбуждение определяется таким образом: (10—35—6). «Возбуждение, создаваемое током якоря или частью этого тока». Однако и шунтовое возбуждение также создается частью тока якоря.

Группа 15. Щиты и аппараты для коммутации и регулировки. Перевод под редакцией проф. В. П. Иванова.

Начнем с первого же термина: «Аппаратура (15—05—1). Общий термин, приложимый к совокупности аппаратов, служащих для управления, регулировки, безопасности или контроля и принадлежностей распределительного устройства, применяемых в электрических установках». Что такое «принадлежности распределительного устройства»? Об этом нигде ничего не сказано, как не сказано и о том, что такое само «распределительное устройство». А не входят ли «аппараты, служащие для управления, регулировки» и т. д. в число принадлежностей распределительного устройства? Как будто бы, входят. Не стоило в одном определении два раза говорить об одном и том же. А вот «Сборные шины» тоже входят в число «принадлежностей распределительного устройства», но аппаратурой они уже не будут.

А вот «щит» (15—05—2): «Совокупность аппаратуры, предназначенная для управления и для контроля состояния электрических цепей». Если учесть, что аппаратура есть совокупность принадлежностей распределительного устройства (15—05—1), а распределительное устройство, по крайней мере в сравнительно небольших установках, и есть не что иное, как щит, то получается, что «щит есть совокупность совокупности принадлежностей щита».

Дальше, сейчас же рядом (15—05—3) еще лучше. «Панель. Часть щита, имеющая форму панели». Здесь опять понятие «панель» определяется через панель же.

Определение «контактора» (15—10—3): «Аппарат, у которого подвижной контактный элемент, или подвижные контактные элементы имеют только одно положение покоя, отвечающее размыканию цепи». Всякий, кто проч-

тет определение контактора, должен прийти к выводу, что при замкнутой цепи эти подвижные элементы должны находиться в движении, не имея вовсе покоя.

А вот (15—30—7) определение «сборных или главных шин»: «Проводники, к которым присоединены источники энергии или (курсив мой. А. Р.) распределение цепи». А разве устраиваются шины, к которым присоединяются только лишь источники энергии? Словом «или» это, без сомнения, подтверждается, хотя в действительности не делается.

Группа 20. Приборы для технических и лабораторных измерений. Перевод под редакцией проф. Н. Н. Пономарева.

Начнем с «Электростатического прибора» (20—05—4) «Прибор, действующий под влиянием электростатических явлений и сил». Под влиянием «электростатических явлений» (если из явления исключить силы, что и сделано прибор не может действовать. Все приборы могут действовать только под влиянием сил.

В определении «теплого прибора косвенного действия» сказано: «Прибор, в котором пользуются нагреванием термопары, или другого детектора (20—05—10)». Что такое «детектор»? Этот термин определяется так: «Устройство, дающее возможность обнаруживать существование электромагнитных волн» (60—20—1). Другого определения нет.

Термин «счетчик с колебательным движением» (20—25—11) определяется так: «Счетчик, в котором колебания подвижного соленоида, вызванные влиянием неподвижной катушки, отмечаются интегрирующей системой». Что такое «интегрирующая система», об этом нигде ничего не сказано.

Термин «Измерительный трансформатор» (20—30—11) определяется таким образом: «Статический трансформатор, предназначенный для питания измерительных приборов». Попробуем вставить сюда определение трансформатора (10—25—1): «статический, индукционный аппарат...» тогда для измерительного трансформатора получим: «статический, статический индукционный аппарат...»

И, наконец, шедевр (20—35—5), «Подвижная часть». Конечно, только измерительных приборов, т. к. этот отдел посвящен именно им. Определение этого термина таково: «Подвижная часть измерительного прибора (ничего другого. А. Р.) есть подвижная часть измерительного прибора».

«Керн» (20—35—14): «Крайние части — часто съемные — оси подвижной части, которыми она опирается на драгоценные камни или на другие твердые вещества». Останемся на словах: «драгоценные камни или... другие твердые вещества». Итак, «камень», это есть «вещество».

Здесь были рассмотрены только некоторые определения четырех групп (всего их 14). Однако эти четыре группы составляют около половины всей книги.

Надо признать, что даже оригинальный французский текст далеко не удовлетворяет тем требованиям, которые можно предъявить должному труду Международного Комитета. Но если оригинальный текст заслуживает немало упреков, то перевод его на русский язык таков, что должен быть, безусловно, переработан, по крайней мере, в рассмотренных группах.

Общего редактирования в словаре совершенно замечено. Между различными группами нет согласованности. Перевод одного и того же термина в разных группах иногда различен. Трудно понять, какая система положена в распределение терминов: алфавитного порядка нет. Нередко термин определяется другим термином, помещенным после него через несколько терминов, или термином, определения которого вовсе нет. Хотя в предисловии и отмечено, что многие важные термины отсутствуют, однако, если отсутствуют термины, служащие определением других терминов, то в таком виде словарь выпустить недопустимо, и эти термины, хотя бы и не утвержденные МЭК, в русском издании словаря следовало непременно поместить.

Общее впечатление: словарь, несмотря на длительный срок работы над ним многих специалистов, изобилует дефектами, составлен небрежно и не отредактирован.

А. В. Русинов

ПРОФ. А. Я. БЕРГЕР, ДОЦ. В. И. СЫСОЕВ, ИНЖ. В. А. ВАСИЛЬЕВ. Под редакцией проф. Бергера А. Я. **ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НОВЕЙШЕЙ ТЕОРИИ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ.** Энергоиздат, 199 стр., Л.—М., тир. 4000 экз., цена 2 р. 50 к.; пер. 1 руб. с черт.

В книге впервые на русском языке систематически излагаются весьма актуальные вопросы теории синхронных машин. Сама книга могла быть более полезной как для учащихся, так и для инженеров, если бы она была отредактирована более внимательно и не содержала бы большого количества опечаток. Вместо прилагаемых к книге 6 замеченных опечаток, нами было обнаружено около 90, в особенности много у индексов. Многочисленные расхождения в терминах, применяемых в различных главах книги, ненужные отступления, возвращающие читателя к элементарным понятиям, и в то же время ряд положений, принятых без доказательств, но нуждающихся в них, неправильные алгебраические действия при выводе формул, неточное математическое построение формул, а иногда совершенно неверное выражение мысли — сильно порочат книгу. Издание в таком небрежном виде интересного как для учащегося, так и для инженера материала указывает на полное неуважение авторов к своим читателям. К недостаткам следует также отнести чрезмерное увлечение в оперировании с относительными величинами.

Далее систематически изложены наиболее важные дефекты, замеченные нами в рассматриваемой книге.

На стр. 28 и 29 дано объяснение принципа относительной неподвижности магнитных полей у вращающихся машин, известного из общего курса электрических машин своими рассуждениями, отвлекающего читателя от излагаемого в данной главе материала.

Не соблюдено соответствие рис. 22, 24, 29 а и б, изображающих векторные диаграммы напряжений. Так, на рис. 29а вектора  $I_{ax}d$  и  $I_{qx}q$  имеют направление в одну сторону, на рис. 29б — в другую, а на рис. 24 написано, что  $E_{ad} = I_d X_d$  (несоответствие с текстом в начале 58 стр.). Очевидно, вся эта путаница возникла из-за отсутствия разграничения уравнений э. д. с. в скалярной и векторной форме. В начале стр. 64 сказано «Поток, создаваемый системой токов прямой последовательности, вращается синхронно с ротором. Поток, создаваемый системой токов обратной последовательности, вращается в обратную сторону». Ясно и не вызывает сомнений. На полстраницы ниже имеем следующее: «относительная скорость поля, обусловленного токами системы прямой последовательности, равна нулю, потому что эта система токов движется синхронно с ротором. Система токов обратной последовательности движется влево...». Зачем повторение, да притом еще вызывающее недоумение, так как такое объяснение рассматриваемого вопроса требует предварительных условий и в отечественной литературе не принято.

На стр. 65 указано, что большинство гидрогенераторов Союза не имеет демпферов, а в скобках: «это зависит от ряда обстоятельств». Вот эти-то «обстоятельства» и интересуют читателя, а они нигде не перечислены. В конце стр. 67 написано: «переход от второй к третьей длится, с точки зрения общежитийской, также недолго — пару секунд, но с точки зрения электротехники довольно долго». Во-первых, переход длится не всегда «пару секунд», а во-вторых, книга написана для квалифицированного электрика, не нуждающегося в пояснении, что — «пара секунд» есть относительно большой промежуток времени.

На стр. 69 указано, что реактанс  $X_s$  есть реактанс рассеяния по пазам, на 75 стр.  $x_s$  — это реактанс рассеяния в пазу, на 77 стр.  $x_s$  — реактанс рассеяния поперек паза, на 81 стр.  $x_s$  — реактанс рассеяния паза, конечно, это один и тот же реактанс, но почему же тогда не выдержано единообразие в определении его? Если же автор хотел познакомить читателя с названиями реактанса  $X_s$ , то это тоже неметодично, так как рассеивает внимание.

То же самое можно сказать и о проводимости:

На стр. 69  $\lambda_s$  — проводимость пазной части обмотки.

На стр. 75  $\lambda_s$  — проводимость на пазу.

На стр. 76  $\lambda_s$  — проводимость поперек паза.

На стр. 87  $\lambda_s$  — проводимость паза.

Ссылка на литературу, приводимая на стр. 69, является недопустимой, так как дается не первоисточник, а справочник СЭТ V том. На этой же странице безапелляционно приводятся цифры для  $\lambda_s$  и  $\lambda_E$ , что вовсе не является законом. На стр. 70 приведена формула для определения  $X_{d\phi}$ , но

откуда она взята? — неизвестно. На той же странице написано: «Когда оно (поле обратной последовательности. В. К.) встречает полюс, то претерпевает одно сопротивление не большое, а когда встречает пространство между полюсами, то претерпевает другое, большее сопротивление». Термин «претерпевает» совершенно не выражает той мысли, которую хотел изложить автор. На стр. 72 дана таблица реактанцев и та же таблица дана на стр. 123, но под другим названием и с некоторой перестановкой. Совершенно излишнее дублирование. На стр. 74 сказано: « $l_i$  расчетная длина статора равна  $l_a$  минус половина каналов», очевидно, пропущены слова «ширины всех», после слова «половина».

То же на стр. 86. Несколько странным кажется весьма короткое изложение без всяких доказательств определения реактанца по головкам, несмотря на то, что он играет не менее важную роль, чем реактанс паза. При определении реактанца нулевой последовательности фаз (§ 5)  $X_{E0}$  принят без всяких объяснений равным нулю.

При определении реактанца обратной последовательности доказано (формула 175), что  $X_2 = X''_d$ , но далее следует: «Однако обычно считают  $X_2 = 1,22 X''_d$ », что принимается голословно. На стр. 98 указано, что «имеются джоулевы потери  $I^2 r$ , в которые и рассеивается магнитная энергия потока». Эта формулировка неверна, так как магнитная энергия не рассеивается в джоулевых потерях, а превращается в джоулевы потери, т. е. в тепло, а рассеивается уже тепло в окружающее пространство. На стр. 99 в формулах не обращено внимания на правильное расположение сомножителей, содержащих тригонометрические и показательные

функции. Например, написано:  $\sin(\alpha - \varphi) \varepsilon^{-\frac{r}{L}t}$ , причем между  $\sin(\alpha - \varphi)$  и  $\varepsilon^{-\frac{r}{L}t}$  не поставлено даже знака умножения,

не говоря о том, что лучше поставить  $\varepsilon^{-\frac{r}{L}t}$  перед  $\sin(\alpha - \varphi)$ . Это мешает чтению формул. То же самое можно наблюдать и на страницах 102, 103, 152, 154, 155, 156, 158, 160, но с приятным исключением: так, в формуле 312 наряду с указанным расположением сомножителей есть и другое, не вызывающее никаких сомнений, например:  $\varepsilon^{-\frac{r}{L}t} \cos(\omega t + \alpha)$ , а уравнение 195 (стр. 103) написано все правильно. Фраза в начале стр. 101 — «При этом составляющая постоянного тока статора будет индуцировать в роторе переменный ток, так как будет пересекать то северный, то южный полюс» — ясна по смыслу, но мысль высказана неправильно, так как составляющая тока вообще ничего не пересекает. Интересно, что принципиально та же мысль в следующей фразе изложена верно. В уравнении 202 на стр. 106 произведены неправильные алгебраические действия, приводящие к неправильной формуле 203. В скобках вместо члена

$$\frac{X'_d - X'_q}{2X'_d X'_q} \cos 2\omega t \text{ должно быть: } \frac{X'_d - X'_q}{X'_d + X'_q} \cos 2\omega t.$$

В следующем уравнении 205, имеющем аналогичный вывод, ошибка не повторяется. На стр. 107 в фразе «Мы получили выражение для тока короткого замыкания» пропущены слова «аперiodической составляющей» перед словом «тока». В начале стр. 108 сказано: «перейдут далее ко второму этапу — даже точных дифференциальных уравнений...». Слово «даже» здесь неприменимо, то же можно сказать и о слове — «задают» на стр. 119 в фразах «Европейцы задают», «Американцы задают». Начиная от стр. 111 и далее, производятся действия с векторами (метод симметричных составляющих), но нигде нет знаков, указывающих, что мы имеем дело с векторами, нет также и оговорок, оправдывающей написанное.

В § «а» на стр. 118 автор оперирует с сопротивлениями, выраженными в омах, но в следующих параграфах сделан переход к относительным значениям  $x$ , а обозначение токов принято как и в § «а», причем не объяснено, что будут определяться уже не действительные значения тока, как в § «а», а кратности токов к. з. по отношению к номинальному току.

На стр. 152 приводится формула 304 для определения тока  $i$  со следующим указанием: «Выражение для тока нам известно». Необходимо отметить, что формула 304 в книге нигде не встречается, а получается она после ряда преобразований и упрощений из формулы 194. Здесь же у формулы 305 пренебрегают вторым членом уравнения, но не обосновывают причину этого. На этой же странице через  $P$  обозначено число полюсов, а ранее через  $P$  обозначалась мощность; поскольку здесь идет речь о моменте, то может произойти путаница. Нельзя не отметить имеющегося большого количества опечаток (около 30) на страницах 152, 154, 155, 156, 157, 158 и неправильно, с математической точки зрения, написанных уравнений, неверного переноса скобок, пропуска букв и т. д.

На стр. 155 дается формула 313 и указано, что момент получается в килограммометрах, — это неверно, так как момент выражается здесь в синхронных ваттах.

На стр. 162 имеется следующая фраза: «при низком  $\cos \varphi$  возбуждение придется иметь большее», а разве при парал-

лельной работе низкий  $\cos \varphi$  нельзя получить уменьшением возбуждения?

На стр. 163 дается весьма неудачное определение врем переходного режима, при внезапном изменении нагрузки оно гласит так: «однако, переход от одной диаграммы нагрузки к другой не происходит мгновенно, а длится некоторое время. Это и есть время переходного режима».

На стр. 164 указывается: «если машина с явными полями потеряла возбуждение, то это не значит, что ее нужно непременно выключать». К этому положению надо относиться весьма осторожно, так как если даже машина и выпадает из синхронизма, при потере возбуждения, то всяком случае она будет потреблять большой реактивный намагничивающий ток, в некоторых случаях превышающий номинальный. На этом мы и заканчиваем свой неполный список авторских и редакторских «неувязок», которые надеемся увидеть исправленными в следующем издании этой книги.

В. К. Красуский

## Harwood P. B. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ<sup>1</sup>. N. Y., John Wiley & Sons, 1936, 390 p. 188

Автор поставил себе целью дать краткое описание характеристик различных типов электродвигателей и объяснить, каким образом эти характеристики используются в схемах управления электроприводами. В соответствии с этим в книге приводятся расчеты, конструктивные данные и эксплуатационные характеристики различных типов аппаратов управления и указываются способы комбинирования этих аппаратов в схемах управления. Рассматриваются возникающие в этой связи процессы пуска и торможения двигателей, а также расчеты и выбор сопротивлений.

Будучи представителем одной из ведущих американских фирм в области аппаратостроения и промышленных электрооборудований — Cutler — Hammer — Харвуд в своей книге дает достаточно подробный обзор схем и принципов управления (особенно автоматического) и аппаратуры для современного электропривода. При этом он ориентируется не только на изделия своей фирмы, но в достаточной степени дает отражение продукции и других аппаратостроительных заводов.

Книга Харвуда охватывает значительный круг вопросов: после вводных глав общего характера автор рассматривает сперва область схем и аппаратов постоянного тока, затем переходит к переменному току, после чего следуют главы об электромагнитных тормозах, вспомогательных цепях управления и их элементах (термостаты, плавковые выключатели, ограничители хода и пр.). Отдельная глава посвящена технике построения комплексных коммутационных схем. Две главы отведены расчету пускорегулировочных и тормозных сопротивлений, а также конструктивным особенностям сопротивлений и материалов, идущим на их изготовление.

Подробно описана контакторная аппаратура для всевозможных применений. В главе «Методы ускорения» весьма удачно изложены принципы контакторного запуска в ход двигателей. Здесь описывается ряд принципов, достаточно распространенных в Америке, но еще мало популярных у нас, например, запуск с выдержкой времени на отдельных ступенях по принципу магнитной индукции (Inductive time limit acceleration) или с выдержкой времени с помощью моторного коммутатора (Motor-driven timer).

В главе «Конструкция аппаратуры управления» сосредоточены выдержки из стандартов и норм США на аппаратуру, даны основные определения и терминология, ука-

заны требования к аппаратуре, устанавливаемой в благоприятных условиях окружающей среды и пр.

Особого внимания заслуживает заключительная глава «Применение электронных приборов в схемах управления», в которой, но ясной и хорошо систематизированной форме знакомящая с современными многосторонними применениями вакуумной техники в области электропривода. Кроме характеристик и классификации электронных ламп, здесь дан обзор электронных реле и основные схемы их включения, а также конкретные примеры их применения. В частности, описаны новейшие принципы управления пассажирскими лифтами с использованием магнитных цепей переменного сопротивления и электронные реле.

Хотя в книге преобладает описательный материал, не менее в ней содержится достаточно и расчетного материала, основанного на сравнительно простых формулах. Однако автор не дает подробного математического анализа нестационарных процессов и почти совершенно обходится без высшей математики.

Упрощенную трактовку переходных процессов в электроприводах и отсутствие соответствующего математического анализа их следует отнести к минусам книги Харвуда. В частности совершенно не отведено места схемам Леонарда, расчетам форсировки возбуждения и т. п. вопросам. Внешнее оформление книги — образцовое: оно обильно иллюстрировано хорошими снимками аппаратов и четкими диаграммами и схемами.

Советскому читателю книга Харвуда дает возможность ознакомиться с богатой и весьма разросшейся за последнее время американской терминологией в области аппаратуры управления. Равным образом большое практическое значение имеют приводимые на стр. 245—250 таблицы, содержащие: 1) нормальные обозначения и нomenclатуру для контакторов, реле, конечных выключателей и т. п. аппаратов; 2) условные сокращения в названиях электрооборудования, встречающегося на коммутационных схемах и спецификациях; 3) стандартные обозначения клемм электрических машин и трансформаторов и 4) условные графические символы для коммутационных схем, принятые в США.

Книгу Харвуда можно рекомендовать аппаратостроительным заводам и проектирующим организациям, занимающимся вопросами электрификации промышленности а также и учащимся вузов соответствующих специальностей. Желателен перевод этой книги на русский язык чтобы сделать ее доступной указанным кругам советских электротехников.

Л. Б. Гейлер

<sup>1</sup> По материалам библиографического сектора Гос. научной библиотеки НКТП СССР.

В. Вальтер. С КАКОГО МЕСТА СВОЕГО ПУТИ МОЛНИЯ НАПРАВЛЯЕТСЯ К МЕСТУ УДАРА. Zeitschr. f. techn. Physik, № 4, 1937, стр. 105.

Исходя из определенных теоретических представлений автор в своей работе, опубликованной в 1933 г., дал формулу для определения радиуса  $r$  зоны защиты одиночного молниеотвода, расположенного вертикально на плоскости и имеющего высоту  $h$ :

$$r = \sqrt{(2H - h)h}. \quad (1)$$

В этой формуле  $H$  — высота облака над землей.

Сравнение величин  $r$ , полученных по формуле (1) при подстановки в нее значений  $H$  порядка 1000–3000 м,

с данными, собранными автором при изучении статистики поражений молнией городских сооружений, выявляет значительную переоценку расчетного значения зоны защиты.

Решая уравнение (1) относительно  $H$  и используя известные из опыта значения  $r$ , можно найти значения  $H$ , которые в этом случае уже не будут представлять высоту пути, а будут указывать на высоту, с которой молния начинает ориентироваться на поражаемый ею объект высотой  $h$ .

Вальтер полагает, что получение из формулы (1) преувеличенных значений  $r$  происходит от неправильно выбираемой высоты  $H$ .

Из анализа упомянутой статистики были получены значения  $r$  для башен высотой 100 м в пределах от 1 до  $2\frac{1}{2}h$ , что дает по формуле (1) значения  $H$  в пределах от 100 до 250 м. Таким образом молния, которая ударяет в снабженную молниеотводом башню высотой 100 м, имеет на своей траектории

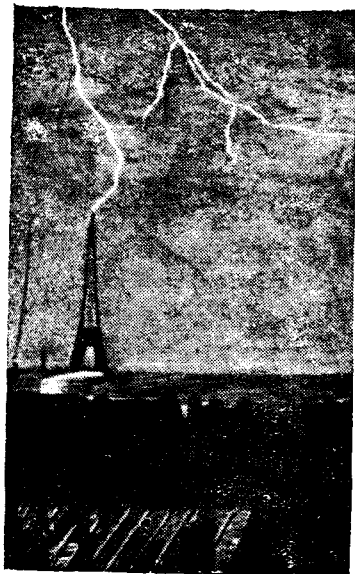


Рис. 1. Удар молнии в Эйфелеву башню



Рис. 2. Удар молнии в церковную башню высотой около 100 м

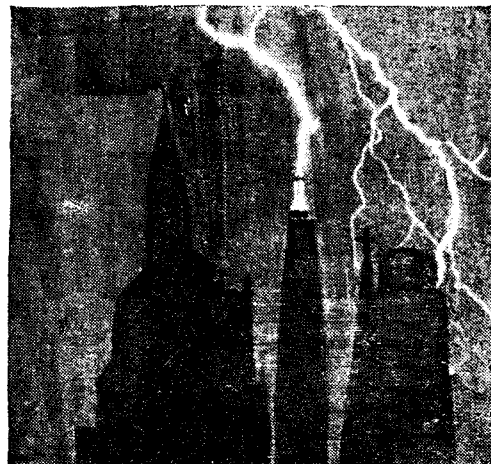


Рис. 3. Удар молнии в башню здания Empire State Building в Нью-Йорке (высота 380 м)

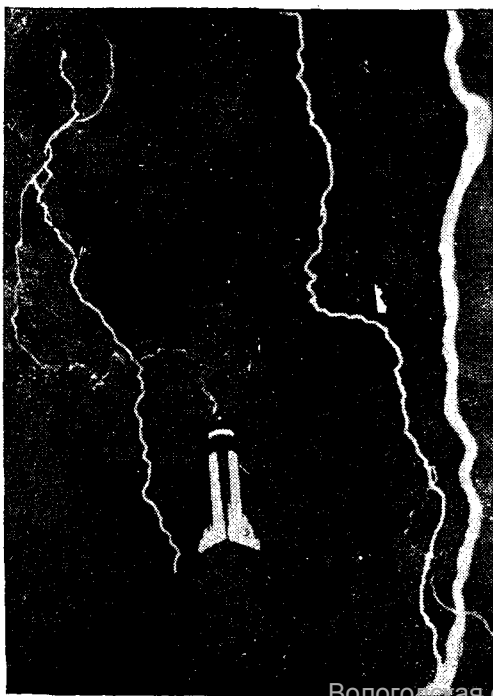


Рис. 4. То же, что и на рис. 3

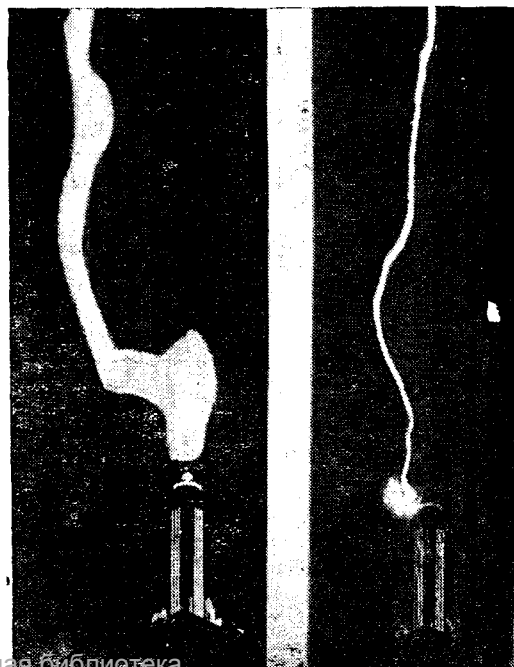


Рис. 5. То же, что и на рис. 3



точку, с которой она начинает ориентировать свой путь к башне на высоте не большей 150 м над башней.

Для доказательства этого положения приводятся фотографии поражения молнией весьма высоких объектов. Эти фотографии воспроизведены на рис. 1—5.

Доказательством выдвигаемого положения являются изломы траектории молнии, наблюдаемые на всех фотографиях на высоте от 0 до  $h$  м над вершиной пораженного сооружения, высотой  $h$ .

Особый интерес с точки зрения рассматриваемого вопроса представляет фотография на рис. 5 б. Здесь молния ударила не в расположенный на вершине башни молниеотвод, а в решетку, находящуюся на 12 м ниже вершины. Излом траектории молнии лежит здесь на высоте вершины башни, так что при расчете по формуле (1) в этом случае нужно принять  $H = h$ . Это дает значение для  $r$ , равное  $h$ , а это означает, что развивающаяся к земле молния шла от башни на расстоянии, равном ее высоте, и, лишь достигнув высоты вершины башни, ударила в нее<sup>1</sup>.

При выводе формулы (1) были сделаны предположения, которые являлись наверняка не совсем правильными в применении к данному случаю. Согласно этим предположениям молния при своем развитии из каждой точки своего пути направляется к наиболее близкому месту на поверхности земли, между тем здесь нужно учесть, что электрические силовые линии индуцированных зарядов в рассматриваемый момент имели значительно большую плотность на острие башни, чем в любом другом месте ее окрестности. Поэтому шпиль башни оказывает в определенный момент на электричество, запасенное в канале молнии, значительно большее притяжение, чем любая другая точка окрестностей, откуда следует заключить, что боковое расстояние от шпиля башни до надлома пути в этом случае было значительно больше, чем получающееся расчетом по формуле (1).

По тем же соображениям очевидно, что каждая молния, которая при своем развитии приближается обочку к башне, оборудованной молниеотводом, на расстоянии, равное или меньшее ее высоты, — надежно ею улавливается, или, другими словами: радиус защитной зоны такой башни определенно больше ее высоты.

Из анализа приведенных фотографий делается заключение, что путь молнии испытывает надлом на сравнительно небольшой высоте над шпилем сооружения, после которого молния определенным образом направляется к башне. Таким образом башня начинает оказывать влияние на путь молнии лишь с момента появления надлома. Относительно малая высота этого надлома над шпилем башни, в одном случае даже на равной высоте с ним, находится в соответствии с фактом, установленным на основании анализа статистики поражений, согласно которому радиус зоны защиты лишь немногим больше высоты башни.

<sup>1</sup> В примечании к корректуре автор указывает на фотографию, аналогичную воспроизведенной на рис. 5, опубликованную Петерсом в ж. *El. Nachrichtentechnik* № 1, 1937.

И. С. Стекольников

#### К статье Вальтера<sup>1</sup> «С какого места своего пути молния направляется к месту удара»

1. Формула  $r = \sqrt{(2H - h)h}$ , применяемая Вальтером для определения радиуса зоны защиты стержневого молниеотвода<sup>2</sup> высотой  $h$ , была выведена Пиком из элементарного геометрического построения, базирующегося на гипотезе, что молния поражает земную поверхность в части, наиболее близко расположенной от точки образования молнии в туче. Для расчетов по формуле вместо  $h$  подставлялась высота стержня, а вместо  $H$  — высота тучи над землей. Сопоставляя результаты лабораторных экспериментов на модели с данными статистики о поражении молнией сооружений, защищенных высокими башнями, снабженными молниеотводами, Вальтер в работе, опубликованной в 1933 г.<sup>3</sup>, отметил значительное расхо-

<sup>1</sup> См. выше реферат статьи Вальтера.

<sup>2</sup> Этот термин применяется здесь (согласно решению совещания при энергетической группе техн. отд. Академии наук СССР по докладу комиссии, разрабатывавшей инструкцию по защите сооружений от действия молнии), взамен слова дивертор.

<sup>3</sup> *Zeitschr. f. techn. Phys.* № 3, стр. 118.

жение сравниваемых величин и заключил, что единственной причиной, вызывающей ошибочные значения величин для  $r$ , получаемых из формулы, является допущение того, что молния уже при «выходе» из тучи направляется к пораженному ею объекту. Подставляя в формулу значения  $r$  и  $h$  на основании материалов статистики, Вальтер получил величины для  $H$  порядка от  $h$  до  $2,5h$ . Получившиеся значения  $H$  Вальтер определил как высоты, с которых развивающаяся молния как бы «замечает» поражаемый ею объект.

В реферированной в этом номере журнала статье, Вальтер из рассмотрения траекторий молнии делает вывод об опытным доказательстве вышеупомянутого заключения, и следовательно, тем самым оправдывает применимость формулы.

2. Сама по себе мысль о том, что молния «замечает» поражаемый ею объект с определенной высоты, не вызывает возражений, напротив, целый ряд наблюдений на искровом разрядом в лабораторной обстановке убеждает в том, что разряд в некоторых случаях действительно явно направляется к поражаемому им объекту из некоторой определенной точки своей траектории<sup>4</sup> (хотя в совсем так резко, как это изображено у Вальтера в журнале *Zeitschr. f. techn. Physik*, 1933, № 3, стр. 123, рис. 3).

Посмотрим, однако, является ли действительно упомянутая формула обоснованной физическими соображениями и дает ли ее применение что-либо больше, чем имеющийся статистический материал.

С этой целью сначала остановимся на фотографии рассматриваемых Вальтером, и начнем со снимка, приведенного в статье Петерса, воспроизведенного на фото! Вальтер утверждает, что путь молнии имеет «надлом» в высоте почти равной высоте шпиля сооружения, с которой молния «замечает» башню. Однако уже первый взгляд на фотографию показывает, что именно в этом случае молния «заметила» башню с момента своего образования. Действительно, соединение начала пути молнии и ее конца прямой линией показывает, что 2/3 своего пути молния идет лишь с весьма малыми отклонениями от этого пути. На последнем отрезке своей траектории молния отклоняется от прямой линии, делает на высоте шпиля башни крутой поворот, направляясь от него, а затем меняет направление, и видимый след ее заканчивается несколько ниже вершины башни (быть может не ударил в самую башню, а поражая, например, антенну).

Из остальных фотографий, рассматриваемых Вальтером, лишь одна (рис. 4 реферата) имеет видимое начало разряда. Анализ этой фотографии я произведу ниже. Из остальных фотографий видны только нижние части молнии, и поэтому невозможно вообще судить о характере всей траектории. Рассматривая рис. 2 реферата, следует отметить, что надлом в траектории молнии, имеющий место на высоте около 200 м над землей, принятый Вальтером за особенно хорошо выраженное место, с которого молния направилась к башне, на самом деле не явился тем местом пути разряда, с которого он пошел прямо к башне. Значительно ниже, примерно на высоте 50 м над башней, имеет место более плавное искривление траектории, после которого молния оканчивается на вершине башни.

<sup>4</sup> Вместе с тем здесь нужно отметить, что в своих лабораторных экспериментах Вальтер наблюдал «надлом» в пути разряда в несколько специфических условиях, при расположении верхнего игольчатого электрода почти над краем круглой пластинки, служившей нижним электродом. Повидимому, это (хотя бы частично) действовало на форму пути разряда и привело Вальтера к неверному заключению, что молния «замечает» объект, к которому она направляется, при опытах данного рода не имеет значения.

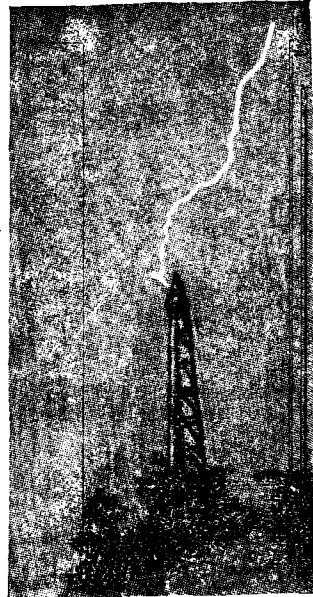


Рис. 1

На фото 1 реферата статьи Вальтера молния направлялась первоначально к башне. Однако так же, как и в случае, показанном на фото 1 этой статьи, на последнем участке пути молния сильно отклонилась в сторону, а затем, сделав два крутых поворота, закончилась на верхушке башни.

На фото 3 реферата видна лишь нижняя часть пути молнии, и поэтому указать что-либо об общей тенденции разряда нельзя.

Для объяснения случаев разрядов, приведенных на фото 5 реферата, могли быть применены рассуждения, аналогичные предыдущим, однако внешний вид фотографии столь необычен (особенно разрядов на фото 5, а), что от обсуждения их в интересующем здесь направлении я воздержусь.

Здесь уместно упомянуть фотографию разряда, опубликованную в статье Белякова и Ханова («Электричество» № 22, 1936), на которой молния делает поворот почти под прямым углом к земле, не ударяя в какой-нибудь сильно возвышающийся объект.

3. При анализе фотографий физически более правильно статью на точку зрения, сформулированную в результате исследований причин образований зигзагов искрового разряда в работе И. Стекольниковой и А. Белякова<sup>5</sup>, согласно которой основным фактором, определяющим траекторию разряда, является электродинамическое поле, развивающееся совместно с разрядом и зависящее от характера разряда (мощности, продолжительности и т. д.) и окружающей обстановки (проводимостей различного рода включений, объемных зарядов, проводимости электродов, их конфигурации и т. д.). Фотография на рис. 4 реферата служит хорошим примером того, как молния под влиянием невидимых факторов совершает большие отклонения от первоначального пути.

Характерно, что после первого крутого поворота разряд не направился к вершине башни, а дошел до вертикальной плоскости, проходящей через нее, и здесь, еще раз круто завернув, закончился на ее вершине.

Согласно вышеизложенному, можно заключить, что наличие около башни, например объемных зарядов, имеющих знак, противоположный со знаком индуцированных зарядов на молниезотводном устройстве, ослабит направляющее действие стержня на путь молнии. При развитии канала и нейтрализации объемных зарядов действие молниезотода начнет внезапно сказываться, и молния резко изменит свой путь. Этот механизм не зависит от прочности промежутка.

Ослабление поля около башни может быть обусловлено влиянием второй тучи, заряженной противоположным по знаку электричеством.

К этим соображениям нужно добавить следующие два:

а) Известно, что импульсная прочность промежутков игла—игла и игла—плоскость различна, и поэтому основная предпосылка, делаемая при выводе рассматриваемой формулы о равнопрочности промежутков воздуха между концом молнии и землей, а с другой стороны — между концом молнии и стержнем, по крайней мере для лабораторных экспериментов является несостоятельной<sup>6</sup>.

б) Сделанные в Лаборатории перенапряжений (ВЭИ) на быстровращающуюся пластинку фотографии (фотографии с быстрой временной разверткой) показали рост лидеров в случае промежутка игла—игла с двух концов. Характерно, что факт развития лидера с плоскости был обнаружен и в случае удара молнии в ровную поверхность пляжа<sup>7</sup>. Возможно, что на упомянутом фото 4 реферата над башней произошло слияние двух лидеров, что и вызвало своеобразное развитие разряда.

Появление лидера на молниезотводе увеличивает его высоту, что не предусматривается формулой.

4. Резюмирую сделанные замечания. Вывод формулы  $r = \sqrt{(2H - h)h}$  базируется на несовершенных физических представлениях и при современных воззрениях о развитии искрового разряда не может быть обоснованым.

Отсутствие критерия к выбору величины  $H$  для данных условий расчета обесценивает практическое применение формулы.

И. С. Стекольников

<sup>5</sup> «Электричество» № 22, 1936.

<sup>6</sup> Этот вопрос подробнее освещен в работе А. А. Аюпьян в отчете ВЭИ по определению защитных зон многократных стержневых молниезотводов.

<sup>7</sup> GER № 10, 1936.

## Разрядники иностранных фирм

В течение ряда лет некоторые иностранные фирмы рекламируют и выпускают разнообразные типы разрядников. В настоящем обзоре описаны конструкции по последним каталогам 1937 г. и журнальным статьям. Между тем наша электротехническая промышленность имеет значительно меньшее число конструкций и не охватывает некоторых областей электротехнического оборудования.

### 1. Каталог фирмы Electric Service Supplies Co. Section 400 Crystal Valve Lightning arresters.

Фирма изготавливает разрядники постоянного тока под названием Garton — Daniels Lightning arresters пяти типов для различных напряжений (табл. 1). Общий вид и схема этих разрядников даны на рис. 1 (а и б).

Таблица 1

№ п/п	Тип	Напряжение сети в В
1	DE	До 350
2	EG	От 350 до 750
3	EH	• 750 • 1350
4	EY	• 1350 • 1800
5	EK	• 1800 • 2400

В основном они состоят из двух искровых промежутков  $d_1$  и  $d_2$ , катушки  $L$  с подвижным якорем  $Я$  и неиндуктивного сопротивления  $R$ .

Катушка шунтирует некоторую часть сопротивления, а основная цепь состоит из двух промежутков и сопротивления, включенных последовательно (рис. 16).

В нормальном положении второй промежуток  $d_2$  замкнут, и верхним электродом его является наконечник якоря катушки. После пробоя промежутка, когда ток достаточно нарастет в катушке, якорек поднимается и гасит дугу. Основные параметры указанных типов даны в табл. 2.

Таблица 2

№	Тип	Сопротивление в $\Omega$	Промежуток в дюймах
1	DE	—	1/80
2	EG	50	1/40
3	EH	140	1/10
4	EY	225	3/32
5	EK	350	8/16

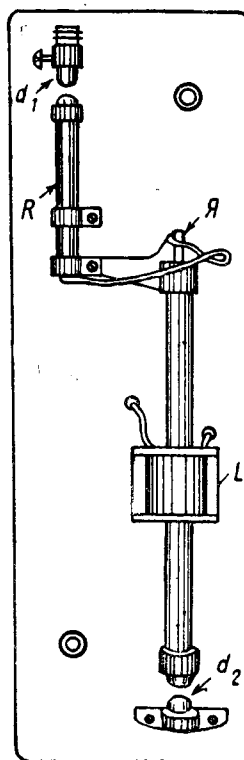


Рис. 1а. Разрядник Garton—Daniels (Type EY 1350-1800 V)

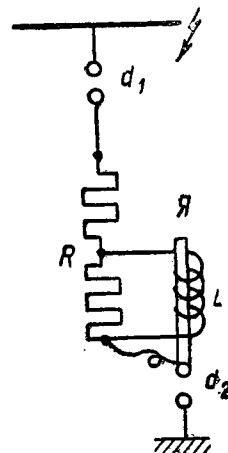


Рис. 1б. Схема разрядника Garton—Daniels



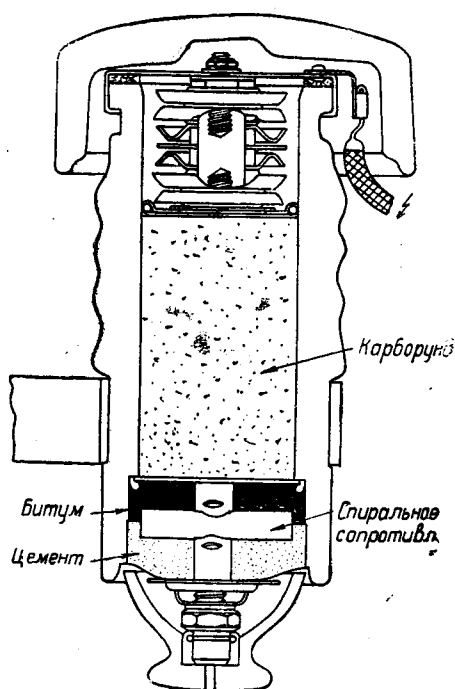


Рис. 2. Разрядники Cristal Valve Lightning arresters

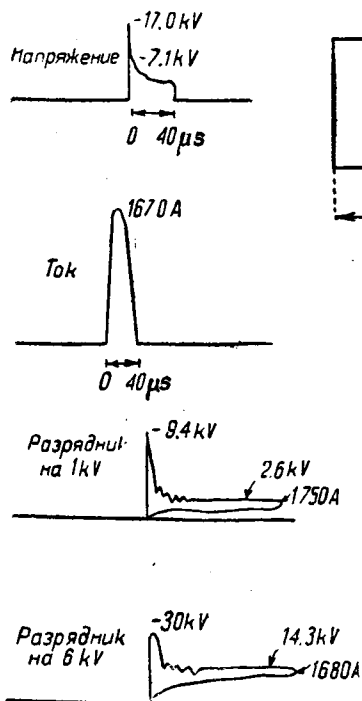


Рис. 3. Разрядники Line Material Co

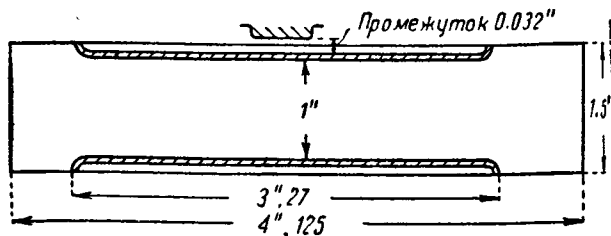


Рис. 4. Блок разрядника Multi-Path (MP)

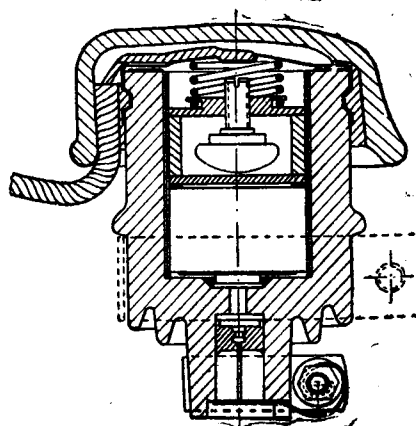


Рис. 5. Разрядник Siemens Kathoden-fallbleiter

Фирма указывает, что эти разрядники хорошо зарекомендовали себя на железных дорогах в течение 15 лет. Характеристики фирмой не приводятся.

Сопротивление  $R$  сделано из керамической массы, электроды должны быть изготовлены из вольфрама.

Основные недостатки такого типа разрядника:

- обгорание электродов;
- наличие некоторой самоиндукции в цепи, что затрудняет гашение дуги;
- сопротивление  $R$  по своей величине того же порядка, что и импеданс сети; это ухудшает защитное действие, которое нуждается поэтому в проверке;
- невозможность срабатывания при двух последовательных перенапряжениях (в некоторых случаях) при одних и тех же начальных напряжениях.

Если последует новая волна перенапряжения немедленно после гашения дуги во втором промежутке, то начальное напряжение возрастет вдвое.

Несомненно, в таком виде разрядники Garton-Daniels мало совершенны, тем более, что за ними сохраняются все недостатки искровых разрядников из-за использования в схеме искровых (дуговых) промежутков. Конструктивно они напоминают разрядники GEC с магнитным дутьем (Publications GEA-737).

В этом же каталоге даны сведения о разрядниках Crystal Valve Lightning arresters. Номенклатура типов охватывает ступени напряжений переменного тока, указанные в табл. 3.

Конструкция разрядников показана на рис. 2.

Таблица 3

№	Тип	Для соединения $\Delta$ и незаземленной $Y$ трехфазных систем в kV	Для $\Delta$ и $Y$ с общей заземленной нейтралью трехфазных систем в kV
1	CV Form D	0,35—1,0	—
2	CV Form D—3	1,0—30,0	3,0—5,0
3	CV Form D—7	3,0—6,0	5,0—9,0
4	CV Form D—8	6,0—9,0	9,0—12,8
5	CV Form D—9	9,0—12,0	12,8—15,0
6	CV Form D—10	12,0—15,0	15,0—18,0
7	CV Form D—12	15,0—20,0	18,0—25,0
8	CV Form D—11	20,0—25,0	25,0—30,0

Основные ее части составляют: а) искровые промежутки; б) кристаллический порошок и в) спиральные сопротивления. Основу разрядника составляет крупнозернистый карборунд, называемый фирмой T-grain. Он определяет в основном всю характеристику разрядника, которая должна приближаться к разрядникам Вестингауза.

Фарфоровый кожух, медная крышка и битум хорошо защищают порошок от действия влажности, так как карборунд гигроскопичен. Производство таких разрядников несложно, как это наблюдал Г. Л. Эпштейн в 1936 г. в Филадельфии во время заграничной командировки.

По заверениям фирмы характеристики выдерживаются в производстве с точностью в  $\pm 10\%$  и вполне удовлетворяют всем требованиям AIEE.

Эта же фирма выпускает небольшие разрядники такого же типа для сетей напряжением до 30 V постоянного тока и двух ступеней до 30 V и от 30 до 175 V переменного тока.

Характеристика такого типа разрядников описана в статье Thornton в «Electrical Canada» от 1933 г. 2

Основной недостаток этих разрядников со свободной засыпкой карборунда — большое «старение» — увеличение постоянной в характеристике карборунда. Тирит обладает значительно меньшим «старением».

## 2. Каталог GEC. «Lightning arresters for protection of distribution systems». GEA-93 k

Оксидного типа разрядники выпускает GEC под названием Pellet arresters. Искровой промежуток у всех разрядников один различных размеров, засыпка названа Pellet valve column. Выпускаются на напряжение от 300 до 15 000 V переменного тока. Производство разрядников поставлено уже давно. В каталоге имеются специальные комнатные разрядники для сетей напряжением до 750 V.

## 3. Каталог фирмы Line Material Co. USA

Фирма выпускает такие же разрядники, как и GEC, на 1, 3, 6 и 9 kV. Кожух сделан из стекла Pyrex, засыпка названа Granulon Valve material. В каталоге приведены характеристики разрядников, часть которых дана на рис. 3.

Описаны специальные защитные искровые промежутки Protection gaps.

1 Св

2 С

заграничной командировке.

Ф. М. Тареева, «Электричество» № 11,

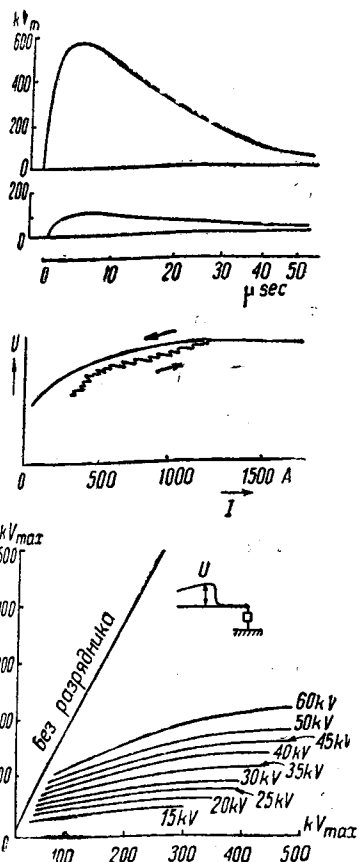


Рис. 6. Характеристики разрядника AEG SAW

0,1 mm. Медные диски перекладываются слюдяными кольцами по 0,1 mm. Все промежутки герметически защищены от действия влаги.

Разрядник основан на принципе катодного падения. Слепая о повышении напряжения гашения дуги в узких каналах, щелях и порах. По данным Слепяна отношение пробивного напряжения к напряжению гашения дуги составляет 2,5—3 для переменного тока и большее для постоянного тока.

Фирма выпускает такого типа разрядники для постоянного тока (электрифицированных ж. д.) 750 и 1200 V. Остается сомнительным, чтобы имелась возможность создать такой разрядник только с промежутками, так как очень трудно увязать начальное напряжение с напряжением гашения дуги.

#### 6. Helios, 1937. Nr. S. 9

Фирма AEG выпустила разрядники под названием SAW-ableiter. Разрядники копируют тип Вестингауза; набор тиритовых дисков и последовательно с ними серия малых искровых промежутков, величина которых не указана. Электроды сделаны массивными, тиритовые диски имеют специальные контактные пластины в виде секторов, фиксирующие положение относительно друг друга.

Выпускаются для подстанций на 15—60 kV переменного тока. Набор дисков и набор искровых промежутков собраны в одном вертикальном фарфоровом кожухе. Вольтамперная характеристика обычная, как у тирита, вольтсекундная дана на рис. 6.

Защитное действие в зависимости от напряжения сети показано на том же рисунке.

В. А. Баев

Выпрямительная работа А. влияние на провода связи. Electric Работе А. № 45, 5 марта 1937, стр. 461.

Выпрямительных подстанциях часто являются нормальной работы проволоочной связи в районе электрической железными дорогами борьбы с телефонными помехами являются...

#### 4. Проспект Metropolitan-Vickers. Descriptive Leaflet № 284 (1—1)

MV рекламирует разрядники (Multi-Path) для напряжения 580 V постоянного тока. Начало срабатывания от 2,5 до 3,5 kV. Конструкция в схеме дана на рис. 4 с основными размерами.

Основной блок изготовляется из карборунда, жидкого стекла и полевого шпата, прессуется вместе с электродами и покрывается бакелитовой эмалью.

О работе этих разрядников данных нет, но необходимо сделать следующие замечания: а) постоянная карборундового блока должна быть велика; б) постоянная блока обладает большим старением; в) блок должен быть хорошо защищен от действия влаги.

#### 5. Проспект Siemens-Schuckert

SGO 434/54 Kathodenfalleiter

Разрядники изображены на рис. 5, последовательно с искровым промежутком набирается серия промежутков по

1) повышение полифазности выпрямителей, т. е. замена шестифазных выпрямителей двенадцатифазными;

2) включение сглаживающего устройства, состоящего из реактора с воздушным сердечником и естественным охлаждением в отрицательную шину подстанции и резонансных шунтов параллельно шинам постоянного тока.

Сравнению этих мер защиты был посвящен доклад главного электрика ж. д. Лондон — Мидлэнд и Скоттиш С. I. Fairbairn международному железнодорожному конгрессу.

Констатируя, что двенадцатифазный выпрямитель имеет в 2 раза меньшую амплитуду гармоник, чем шестифазный (теоретически гармоники должны быть почти в 4 раза меньше по амплитуде. В. С.), и что коэффициент мощности двенадцатифазного выпрямителя выше, чем у шестифазного, по причине меньшего искажения формы кривой первичного тока, инж. Файрборн приходит к выводу, что эти достоинства не окупают большей сложности и дороговизны двенадцатифазных трансформаторов. Это заключение основано на том, что выпрямители с металлическим сосудом при двенадцатифазном питании менее надежны, чем шестифазные, почему двенадцатифазная схема применяется главным образом на стеклянных выпрямителях путем использования двух шестифазных стандартных колб, анодные напряжения которых сдвинуты на 30 электрических градусов.

Кроме того, двенадцатифазная схема не освобождает вовсе от необходимости иметь фильтр, так как снижение гармоник по сравнению с двенадцатифазным выпрямителем недостаточно.

При наличии одной или двух цепей связи в районе электрической ж. д. дешевле принять меры к симметрированию этих линий, чем устанавливать сглаживающие устройства на тяговой подстанции.

В. А. Соловьев

Маневровые дизельэлектрические локомотивы. Railway Electrical Engineer, февраль 1937, стр. 34—35.

Фирмой Baldwin недавно изготовлены несколько маневровых дизельэлектрических локомотивов, оборудованных четырехцилиндровыми и 660 л. с. дизелями модели VO De la Vergne. Электрооборудование, поставленное фирмой Allis-Chalmers, состоит из главного генератора, установленного с дизелем на общем основании; генератор, имеющий две обмотки возбуждения, — независимую и шунтовую, самовентилирующийся, с добавочными полюсами, питает тяговые моторы при максимальном напряжении 600 V. Внешняя характеристика генератора такова, что при увеличении нагрузки напряжение уменьшается, так что при некоторых условиях максимальный ток равен максимальному пусковому току тяговых моторов. Вспомогательный генератор с самовозбуждением смонтирован на общем валу с главным генератором и питает моторы воздушного компрессора, вентилятора и т. п.; кроме того, он служит для зарядки батарей.

Управление тяговыми единицами предусмотрено для четырех моторов, включенных параллельно. Это упрощает управление, так как не требуется перехода от серийно-го к серийно-параллельному включению моторов. На локомотивах установлены автоматические серворегуляторы поля. Это электромеханическое устройство в цепи возбуждения главных генераторов облокировано с регулятором дизеля и подсоединено к сопротивлению в цепи независимой обмотки возбуждения главного генератора.

Оно автоматически увеличивает напряжение генератора при уменьшении тока моторов, так что нагрузка дизеля остается в некоторых пределах регулировки давления постоянной, вне зависимости от скорости или тягового усилия.

Если один или более цилиндров дизеля выходят из строя, отдача генератора уменьшается автоматически, в соответствии с чем уменьшается и отдача дизеля.

Электрооборудование помещено под главной рамой между тележками. Доступ к нему удобен и прост. В заключение отметим, что скорость при продолжительной мощности моторов равна 8,7 km/h; максимальная же скорость — 68,5 km/h.

М. Д. Трейвас

Современные магнитные материалы. Elektrotechnischer Anzeiger № 7, 1937

В течение последних 20 лет появился благодаря развитию способа производства ряд новых магнитных материалов.

Требования, предъявляемые к магнитным материалам, можно разбить на две группы: одни материалы, идущие

для изготовления постоянных магнитов, должны обладать большой коэрцитивной силой и большой достаточной индукцией  $B_r$  — так называемые магнито-твердые материалы; другие же должны, наоборот, иметь малую коэрцитивную силу и легко намагничиваться — иметь высокую проницаемость — магнито-мягкие материалы.

Сталь	Химический состав	Остаточная индукция в Г $B_r$	Коэрцитивная сила в Ое $H_c$
Углеродистая сталь	0,9%—1,1% С	7 000—8 500	25—45
Хромистая	2 —5 % Cr	9 500—11 000	55—65
Вольфрамовая	3 —5 % W	9 800—11 000	60—70
„ с присадкой	3 —5 % Co	8 000—9 000	80—40
„ „	15 —35% Co	8 000—9 000	180—250
Сплав „Al—Ni—Fe	8 —5% Al	5 000—7 000	400—700
„ „Co—Ti—Fe		5 500—6 500	700—900
„ „Pt—Fe . .	70 —80% Pt	3 000—4 000	1800—4000
„ „Pt—Co . .	75% Pt	3 000—4 000	1500—4000
„ „Ni—Cu—Fe		3 000—6 000	500

**Магнито-твердые стали.** До последнего времени для изготовления постоянных магнитов применялась углеродистая сталь. Остаточная индукция в зависимости от содержания углерода этих сталей достигает 7000—8000 Г при коэрцитивной силе  $H_c = 45$  Ое. Добавляя к сплаву ванадий или хром, можно несколько повысить как коэрцитивную силу, так и остаточную индукцию.

Более значительных улучшений добился японец Honda, исследовавший влияние легирующих элементов на магнитные свойства сплавов. В результате этого были получены кобальтовые, кобальт-хромовые, кобальт-ванадиевые стали.

Кобальтовая, а также хромистая и ванадиевая стали позволяют производить над ними в отпущенном состоянии механическую обработку.

Несмотря на 5-кратное повышение значений коэрцитивной силы для кобальтовых сталей по сравнению с углеродистыми, дальнейшие опыты по получению сталей с еще большей коэрцитивной силой продолжались.

Японцу Mishima, работавшему в течение пяти лет в этом направлении, удалось получить сплав Fe—Ni—Al, который обладает  $H_c = 700$  Ое и остаточной индукцией  $B_r =$

$= 5000—7000$  Г. Эти стали различными заводами изготовляются для специальных целей.

В последнее время Honda, улучшив термическую обработку на Co—Ti-сталих, получил коэрцитивную силу  $H_c = 760—900$  Ое и остаточную индукцию  $B_r = 6500—7500$  Г. Наличие этих материалов совершенно меняет конструкцию магнитов, позволяя заменить большие ранее употреблявшиеся магниты малыми из этих новых сплавов. Надо отметить, что Al—Ni и Co—Ti-сплавы допускают обработку только шлифовкой.

Соединение магнита с ярмом возможно с помощью сварки или специальных зажимов.

Разрабатываются сплавы с содержанием очень дорогих элементов, а именно: Pt—Fe, Au—Fe и Pt—Co. Их применение возможно только для специальных целей.

В следующей таблице приведены основные магнитные характеристики этих материалов.

**Магнито-мягкие стали.** В то время как для сталей, идущих на изготовление постоянных магнитов, нужен материал с большой коэрцитивной силой, при постройке электрических машин, трансформаторов и т. д. необходим материал с малой коэрцитивной силой, малыми потерями и большой способностью к намагничиванию. Применявшееся раньше динамное железо имело потери от 2,6 до 4 Вт/кг. Развитие электромашиностроения требовало новых материалов. Хадфильд, Броун, Барет стали получать сплавы с присадкой кремния. Гумлих систематическими исследованиями обнаружил наилучшие магнитные свойства сталей, легированных кремнием, в результате чего была получена сталь с малыми потерями на гистерезис и токи Фуко. Начальная проницаемость этой стали  $\mu_0 = 200—300$ ; потери равны 1,7—3,2 Вт/кг в зависимости от толщины листов. В дальнейшем благодаря появлению электропечей и улучшению термической обработки, удалось повысить магнитные свойства и получить начальную проницаемость  $\mu_0 = 600—800$  и  $\mu_{\max} = 25 000—30 000$ .

Большие успехи были достигнуты благодаря развитию производства железо-никелевых сплавов. Первые работы в этом направлении начались с 1917 г. Гумлих с 1923 г. вел систематические исследования на целом ряде сплавов железа и никеля. Удалось получить сплав, с содержанием 78% Ni и 18% Fe с начальной проницаемостью  $\mu_0 = 10 000—50 000$ . И, наконец, в последнее время был получен сплав 1040 с  $\mu_0 = 40 000—50 000$  и  $\mu_{\max} = 100 000$  и с удельными потерями 0,25 Вт/кг.

В нижеприведенной таблице систематизированы свойства этих материалов.

#### Железо-никелевые сплавы

Марка	Состав в %					Начальная проницаемость $\mu_0$	Максимальная проницаемость $\mu_{\max}$	Насыщение в Г В	Коэрцитивная сила в Ое $H_c$	Удельные потери
	Fe	Si	Ni	Mn	Mo					
Обыкновенная динамная сталь *	99	0.5%	—	—	—	200—300	4 500	18 500	1,2	—
Сталь, легированная кремнием	95	4	—	—	—	500	7 000	20 000	0,5	0,55
Гиперм-4	96	4	—	—	—	10 000	10 000	20 000	0,01—0,03	0,55
Гиперм-36	64	—	36	—	—	2 500	20 000	13 000	0,02—0,03	0,65
Пермаллой С	18	—	75	05	3	10 000	50 000	9 000	0,0035	0,55
Перменорм-480 А	52	—	48	—	—	2 700	19 000	14 000	0,02	0,58
Мометалл **	17	—	76	—	—	12 000	45 000	8 000	0,003	0,45
Магнперм-4510	45	—	45	10	—	33 000	68 000	9 300	0,0053	0,97
„ 6510	25	—	65	10	—	1 800	26 000	8 000	0,08	0,58
„ 1040	—	—	—	—	—	50 000	10 000	—	—	—

\* 0,5 % С

\*\* 2 % Cr

П. П. Храмов

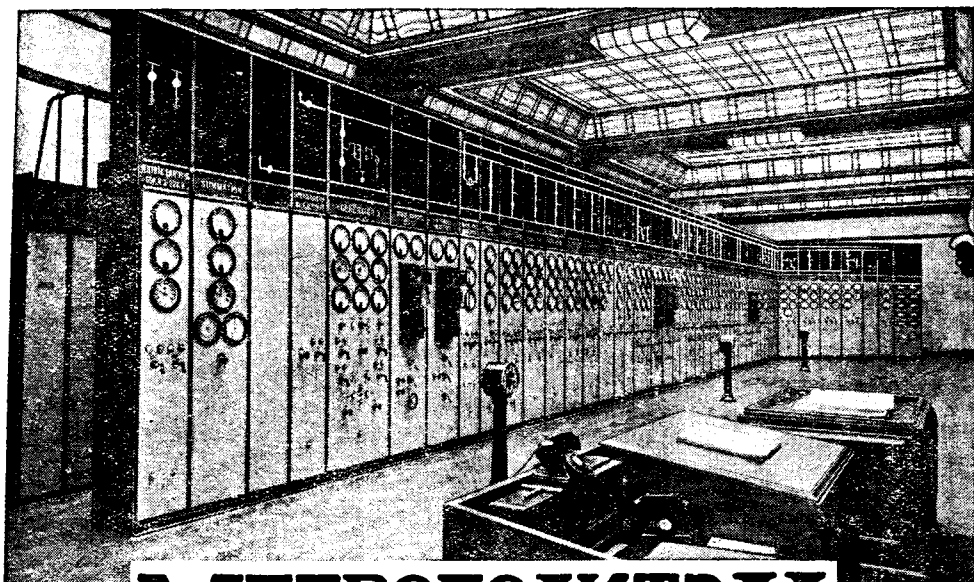
ИЗДАТЕЛЬ ОНТИ

Зав. ред. М. Г. Башкова

Технический редактор А. П. Александрова

Отв. редактор Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ

# Управляющая аппаратура для крупных электрических систем



## МЕТРОПОЛИТЭН Виккерс

ЭЛЕКТР.

АКЦ.О.ВО



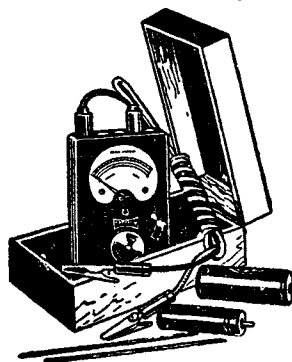
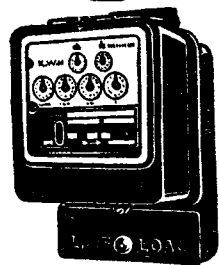
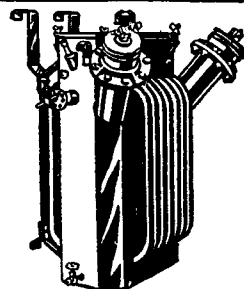
Щит управления станции Баттерси в Лондоне, оборудование которой включает бронированное распределительное устройство МЕТРОВИК на 66.000 вольт и турбоальтернатор МЕТРОВИК мощностью в 105.000 кв.

# Ferranti

## МАСТЕРА ЭНЕРГО-СИЛЫ...

Начиная с первой пионерской работы д-ра S. Z. de Ferranti выросла огромная всемирно известная организация электро-трансформаторов, самопишущих измерительных приборов и таких же счетчиков. Имя Ферранти является синонимом того, что есть лучшего в развитии и достижениях электротехники.

**FERRANTI LTD., HOLLINWOOD, LANCS • АНГЛИЯ**



FG 16

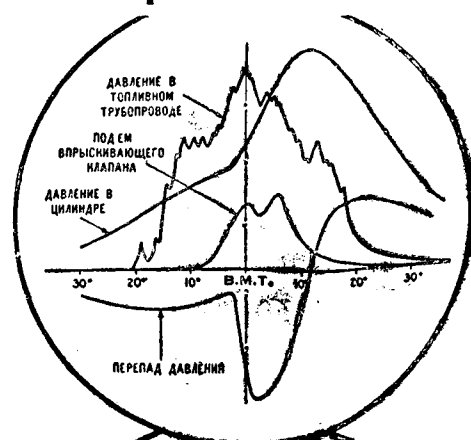
# STANDARD-SUNBURY

## КАТОДНЫЙ ИНДИКАТОР ДЛЯ БЫСТРОХОДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Пригоден для всех исследований в связи с работой:

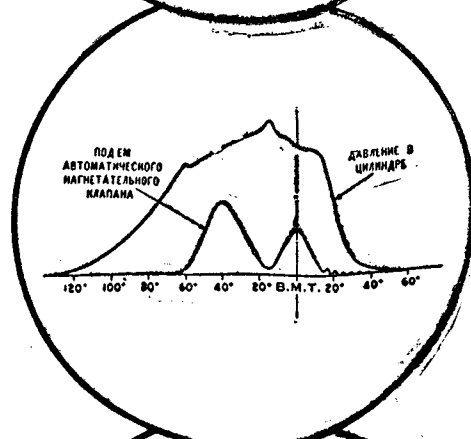
### 1. Дизель-Мотора

Давление в цилиндре, перепад этого давления, подъем впрыскивающего клапана и давление в топливном трубопроводе — показаны на помещенной рядом диаграмме. Многие другие вопросы, как, например, вибрация, скорость или смещение подвижных частей и т. д. тоже могут быть исследованы.



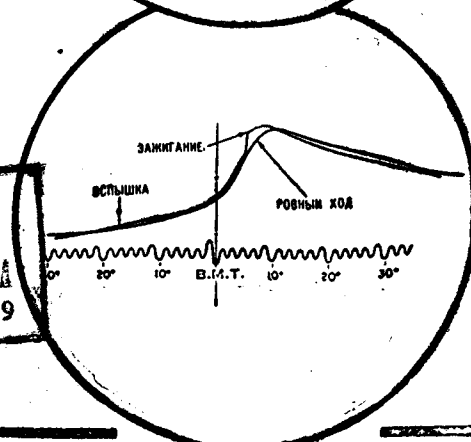
### 2. Нефтяного двигателя

Эта диаграмма показывает давление в цилиндре при нормальных условиях и в момент зажигания, а также градуированную шкалу, по которой можно определить точные промежутки времени.



### 3. Воздушного компрессора

Диаграммы давления в цилиндре и подъема автоматического нагнетательного клапана в воздушном компрессоре малых размеров показаны на помещенном рядом рисунке, который свидетельствует и о других возможностях применения индикатора Standard-Sunbury.



Standard Telephones and Cables Limited

NORT WOOLWICH, LONDON, E. 16 (Англия)

ВОЛОГДСКАЯ  
СОВЕТСКАЯ

ЦЕНТРАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА  
ВОЛОГДА, ГОРОДСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ, 9

# **„ИЗОЛА“**

## **изоляционные материалы для электротехники**

Изделия „мика“

Фибры пропитанные бакелитом

Пропитанное сукно, пропитанный шелк

Изолировочная бумага

Пропитанные ткани

Пропитанный азбест

Изоляционные лаки

Изолированная проволока:

эмалированная проволока,

изолирующая лента,

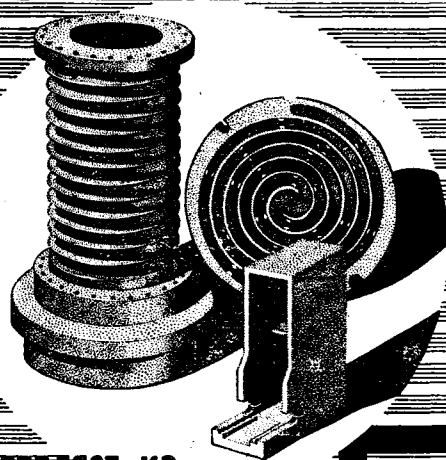
азбеститовая проволока

Изолирующие трубки (не на тканной  
основе)

**Schweizerische Isola-Werke**  
**Breitenbach (Швейцария)**

6786

## **КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ВСЕЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**



поставляет из

зарекомендовавших

себя материалов



**STEATIT-MAGNESIA**  
**AKTIENGESELLSCHAFT**

**BERLIN-PANKOW, FLORA STR. 8 Германия**

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

# **ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПРИЕМ ПОДПИСКИ НА ЖУРНАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО**

Год издания 58-й

24 номера в год

**ЖУРНАЛ ГЛАВЭНЕРГОПРОМА и ГЛАВЭНЕРГО НКТП и ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ИНСТИТУТА АКАДЕМИИ НАУК СССР**

**В группе энергетических журналов СССР „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“ является  
основным научно-техническим органом, рассчитанным на инженеров и  
научных работников электропромышленности и электрохозяйства**

## ПРОГРАММА ЖУРНАЛА

Теоретические проблемы электротехники сильных токов. Основные вопросы электромашино-и аппарато-строения, техники высоких напряжений, электронной техники, автоматизации и электроизмерений. Основные вопросы проектирования и эксплуатации электростанций и электросетей, электрификации промышленности, транспорта, сельского хозяйства и быта СССР. Освещение научно-исследовательских работ институтов и заводов в области электротехники сильных токов, работ энергетических съездов и конференций. Основные вопросы подготовки кадров (программы, учебники), рационализации, стандартизации и норм в электропромышленности и электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.

**Подписка принимается с апреля (с № 7)**

**Подписная цена: с апреля до конца года — 27 руб.**

**на 6 мес. . . . . 18 руб.**

**на 3 мес. . . . . 9 руб.**

**Подписку и деньги направлять: Москва, Пушечная, д. № 9  
Главная к-ра „Техперіодика“**

**Подписка также принимается отделениями и уполномоченными „Техперіодики“,  
магазинами и киосками книгобывта ОНТИ и почтой**

Вологодская областная универсальная научная библиотека