

621.3(05)

345

0-366624



А. Н. ЛОДЫГИН

Пионер русской электротехники

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Широко развернуть строительство малых гидроэлектростанций . . .	1	Вислоух Л. А. и Воронин А. В.— Пляска проводов контактной сети электрических железных дорог	1
Караулов Н. А.— Использование малых вододействующих установок для электрификации сельского хозяйства	3	Марквардт К. Г.— Определение потерь напряжения в контактной сети с учетом проводимости грунта	1
Гиндус Д. О.— „Микрогэс“— автоматические гидроэлектрические агрегаты для малой электрификации	8	Воробьев В. А.— Пробой бумажной изоляции в зависимости от температуры	1
Шенфер К. И. и Иванов А. А.— Генератор постоянного напряжения для колхозных ветроэлектростанций	14	Мантров М. И.— Электрические разряды на поверхности диэлектриков	1
Богданов Н. И.— Компаундирование синхронных генераторов	16	Бамдас А. М. и Беляев Б. В.— Анализ режима холостого хода трансформатора с подвижной короткозамкнутой обмоткой	1
Иванов А. А.— Компаундированный асинхронный генератор	18	Кратиров А. Д.— Резонансный ограничитель тока	1
Шницер Л. М.— О главе шестнадцатой „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“	21	Бобов К. С.— Основные способы искрогашения на выключающих контактах	1
Соловьев В. А. и Бондаревский Д. И.— Новые „Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами“	22	Люттов С. А.— Защита радиоприема от помех, распространяющихся по троллейбусной линии	1
Комельков В. С.— Исследование импульсных искровых разрядов	24	Тареев Б. М.— Электроизоляционные материалы из бентонита	1
Калинин Е. В.— Защитное действие разрядников с зависимым сопротивлением при близком прямом ударе молнии	27	Тишкин К. Е.— Универсальные таблицы для определения монтажного стрела провеса проводов из основных материалов	1
Киселев А. П.— Влияние освещения на пробивное напряжение в системе электродов шар—плоскость	31	Островский Е. П.— Лаборатория электромагнетизма им. Максвелла	1
Захаров В. П.— Принципы построения распределительных сетей общего пользования	34	Радовский М. И.— Исследование Эппинуса в области электромагнетизма (1724—1802)	1
Вексельман О. Г.— К вопросу применения железных проводов	37	Письма в редакцию	1
Файнберг Ю. М.— Об экономии цветных металлов в моторных сетях	39	Библиография	1
Извеков Р. Г.— Основные соотношения для контура газосветной лампы	42	Рефераты	1
Вайнберг А. Я.— К теории точных измерений весьма малых сопротивлений	48	На обложке — А. Н. Лодыгин, пионер русской электротехники, журнала „Электричество“ (1880—1940).	1

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1880 Г.

9

1940

СЕНТЯБРЬ

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ и АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144; тел. В 2-45-63

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

ШИРОКО РАЗВЕРНУТЬ СТРОИТЕЛЬСТВО МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Известно, какое большое значение В. И. Ленин придавал строительству малых сельских электростанций, как он лично выезжал 14 ноября 1920 г. вместе с Н. К. Крупской в Волоколамский район Московской области на Ярополецкую гидроэлектростанцию и затем много помогал электрификации этого района.

Выступая 23 декабря 1921 г. на IX Всероссийском съезде Советов, В. И. Ленин специально подчеркнул значение и роль сельских электростанций:

«Этими мелкими станциями были созданы в деревне центры современной новой крупной промышленности. Они хотя и ничтожны, но все же показывают крестьянам, что Россия не остановится на ручном труде, не останется со своей примитивной деревенной сохой, а пойдет вперед к другим временам». (Ленин, соч. т. XXVII, стр. 134).

Действительно, с того времени хозяйственная жизнь Страны Советов неизмеримо возросла.

В социалистическом сельском хозяйстве под мудрым руководством товарища Сталина окончательно победил путь высокопроизводительного коллективного труда.

Указывая на необходимость завершения в трехлетке комплексной механизации сельскохозяйственных работ, XVIII съезд ВКП(б) по докладу товарища Молотова о третьем пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР постановил широко развернуть строительство мелких колхозных гидроэлектростанций, ветросиловых и газогенераторных электростанций на местном топливе.

Это указание развито в постановлении Экономического Совета при Совнаркоме СССР № 618 от 10 июня 1939 г., где указывается, что строительство гидроэлектростанций малой мощности является одним из основных средств электрификации сельского хозяйства и районных центров.

Важность базировать сельскохозяйственную электрификацию, главным образом, на мелких гидроэлектрических установках объясняется рядом преимуществ последних, сравнительно с большими электростанциями.

ГЭС содействуют экономии топлива, в жидкого горючего, еще недопустимо широко

применяющегося в области стационарной сельскохозяйственной энергетики.

Для строительства малых ГЭС могут и должны широко использоваться местные строительные материалы. Исключительно велика роль трудового участия колхозников в строительстве малых ГЭС.

В большинстве районов СССР использование водных сил издавна широко практикуется чаще всего с целью привода мельничных поставов, для чего на малых реках сооружено большое количество плотин и находящихся при них вододействующих силовых установок.

Во многих случаях эти готовые плотины и перепады могут быть с успехом использованы в целях сельской электрификации.

Плотины малых ГЭС одновременно с перепадами образуют глубоководные бьефы, полезные с точки зрения водного благоустройства села. Эти пруды и водоемы облегчают задачи водоснабжения колхозов и полива огородов, упорядочивают противопожарные мероприятия, нередко разрешают задачи местного водного транспорта и рыбоводства.

В настоящее время количество малых сельскохозяйственных ГЭС достигло 700 с суммарной мощностью более 40 000 киловатт.

Особенно широкое развитие получило строительство малых ГЭС в течение последнего десятилетия. Так, в Белорусской ССР только за период времени с 1936 г. по 1939 г. вступили в строй 23 колхозных ГЭС. В Грузинской ССР за годы сталинских пятилеток сооружено 26 малых ГЭС, общей мощностью 3590 л. с., снабжающих электроэнергией 106 селений. Эти ГЭС располагают 260 километрами высоковольтных линий, питающих 138 понижительных подстанций.

Однако в строительстве новых малых ГЭС имеются крупные недостатки.

В то время как по плану в 1940 г. должно быть построено 356 малых ГЭС на суммарную мощность в 39 170 киловатт (в том числе 92 переходящих объекта с общей мощностью 12 213 киловатт), к середине года строилось фактически лишь 118 ГЭС. Из 223 готовых проектов ГЭС получили утверждение лишь 119 проектов, что свидетельствует о низком качестве многих проектов. План проектно-изыска-

тельских работ выполнен только на 35%. За первое полугодие 1940 г. сдано в эксплуатацию всего лишь 10 новых гЭС.

Причины подобного отставания объясняются плохой подготовкой Главсельэлектро Наркомзема СССР к организации изысканий, проектирования и строительства в 1940 г. Кроме того, наряду с заботливым отношением со стороны некоторых республиканских и областных организаций к строительству малых гЭС (Белорусская ССР, Осетинская АССР, Ивановская обл.), значительное количество местных организаций (Чувашская АССР, Новосибирская обл., Калининская обл. и др.) не проявляют необходимой заботы об этом деле.

Отбор объектов строительства гЭС производится часто без учета технико-экономической целесообразности, а иногда и без учета финансовых возможностей заинтересованных колхозов.

Со стороны заводов-изготовителей отсутствует действительная борьба за выполнение установленной правительством программы выпуска турбин в 1940 г. Из 300 штук турбин годовой программы за первое полугодие изготовлено всего лишь 22 штуки. Автоматические регуляторы числа оборотов сняты с производства Ленинградского металлического завода им. Сталина, и ни один из заводов этих регуляторов сейчас не изготавливает.

В настоящее время турбины для малых гЭС изготавливаются преимущественно в единичных экземплярах на небольших периферийных заводах местной промышленности (например, в Нальчике, Бобруйске, Ереване, Благовещенске), не располагающих удовлетворительным оборудованием и достаточно квалифицированными кадрами. Техническая помощь производству гидротурбин со стороны завода им. Калинина фактически почти не осуществляется. В результате выпускаемые турбины при высокой стоимости нередко бывают низкого качества.

Для решительного улучшения малого гидротурбиностроения и выполнения заданий третьей пятилетки по строительству малых гЭС необходимо в ближайшее же время создать центральный завод, специализированный в области малых водяных турбин, который должен располагать надлежащим оборудованием и квалифицированными конструкторскими кадрами. На центральный завод следует возложить: разработку проектов и технологических процессов изготовления турбин, предназначенных к производству; оказание периферийным заводам необходимой технической помощи в деле серийного выпуска турбин, включая централизованное изготовление некоторых ответственных и сложных деталей; комплектный выпуск наиболее крупных и сложных моделей турбин, а также и регуляторов скорости гидравлического действия.

Необходимо резко увеличить выпуск всех видов и размеров машинного оборудования для малых гЭС — водяных турбин, редукторов к ним, специальных гидрогенераторов, регуляторов скорости.

Наиболее важно наладить серийное производство простых и дешевых водяных турбин современных моделей мощностью от 5—10 киловатт до 300—400 киловатт.

При выборе типов следует отдать предпочтение простым и хорошо освоенным типам турбин, в частности, турбине Фрэнсиса, а при больших мощностях и малых напорах — пропеллерным турбинам несложных конструкций.

Турбины должны выпускаться комплектно с приводным устройством к электрическому генератору.

Необходимо разработать и передать в производство серии конструкций передаточных устройств с применением, наряду с прежними оправдавшими себя типами, новых систем привода, в частности, прецизионного зубчатого редуктора, клиноременного привода «Тексроп» и других.

Далее следует наладить выпуск некоторых типов специальных электрических генераторов для малых гЭС: вертикальных трехфазных машин, генераторов небольшой мощности постоянного тока, предназначенных для работы с поддержанием постоянного напряжения при переменном числе оборотов и при изменении нагрузки.

Особое следует отметить необходимость разработки и внедрения в практику сельскохозяйственных гЭС несложных электроавтоматических устройств управления, наблюдения и защиты. Среди них может быть, например, указан электрический регулятор скорости и напряжения, предложенный Всесоюзным институтом механизации и электрификации сельского хозяйства (ВИМЭ).

Главсельэлектро и наркомат электропромышленности СССР должны взять под особое наблюдение дело реализации постановления Экономсовета при Совнаркоме СССР в части дальнейшего освоения и внедрения в производство автоматических установок типа «МикрогЭС».

В Советском Союзе, а также и за границей исследовательская мысль разработала ряд новых усовершенствованных и удешевленных систем сельскохозяйственных электрических сетей. Так, ВИМЭ для сельскохозяйственных районов предложена «смешанная» система распределения электроэнергии, при которой сравнительно мощные электродвигатели питаются трехфазным током по схеме «два провода — земля», а малые двигатели мощностью до 5—6 киловатт и осветительные токоприемники питаются однофазным током по системе «один провод — земля». Эта система дает экономию до 50% металлов проводов и 25% экономии средств. Внедрение в практику смешанной системы сельскохозяйственного электроснабжения тормозится из-за отсутствия специального оборудования, не более сложного, чем обычно применяющиеся: однофазных трансформаторов мощностью 3—10 киловольт-ампер и однофазных электродвигателей мощностью до 5 киловатт с электролитическими конденсаторами переменного тока.

Таким образом одной из основных задач электротехнической промышленности в области сельской электрификации является массовый выпуск специального оборудования для сельскохозяйственных электросетей, питаемых в большинстве случаев от малых гЭС.

Далее, в деле эксплуатации малых гЭС также имеются еще крупные недостатки. Качество электроэнергии, вырабатываемой гЭС, во многих случаях бывает недопустимо низко. В часы пик нагрузки напряжение на токоприемниках и частота нередко снижаются десятки процентов; в зимние сутки продолжительность питания потребителей иногда сокращается 2—3 часов. Потери электроэнергии при ее распределении от малых гЭС продолжают оставаться значительными.

Электрооборудование и гидромашинное оборудование малых гЭС иногда в течение ряда лет не подвергаются технической ревизии и не ремонтируются, вследствие чего некоторые части оборудования выходят из строя. Аварийность и нечастотность вследствие нарушения правил технической эксплуатации и требований техники безопасности

людаются на малых гЭС и связанных с ними сетях еще в большом количестве. Особенно часты случаи аварий из-за плохого состояния противогрозовой защиты в установках малых гЭС: несвоевременная проверка и ремонт разрядников, отсутствие проверки заземлений и т. п. Все это свидетельствует о необходимости специальной подготовки квалифицированных кадров турбинных машинистов, электромонтеров, техников и инженеров для правильной организации и технически грамотной эксплуатации малых гЭС.

Принятые системы тарифа не содействуют экономии электроэнергии и не создают хозяйственных стимулов для улучшения параметров энергии, отдаваемой гЭС.

Отсюда следует, что технический надзор за работающими малыми гЭС, являющийся настолько же важным и ответственным делом, как и руководство строительством гидростанций, должен быть вкоре пересмотрен и усилен. Особое внимание должно быть уделено при этом задаче использования всей производственной мощности малых гЭС, ввиду того что некоторые из них не загружены полностью (например, в Грузинской ССР).

Наконец, должны получить свое разрешение основные организационные вопросы в области руководства малой гидроэнергетикой.

В ряде случаев организационная разобщенность руководства малыми гЭС наносит ущерб делу электрификации районов. В качестве примера можно указать случаи, когда несколько малых гЭС работают в бассейне одной реки и поэтому должны быть тесно

объединены общим эксплуатационным режимом и системой надзора. Фактически же эти гЭС оказываются хозяйственно совершенно разобщенными вследствие принадлежности их к организациям различных ведомств — колхозы, совхозы, местпром и прочее, — что не может не снижать их энергетической эффективности (например, группа гЭС на р. Ламе, Московская область).

Весь опыт электрификации социалистического сельского хозяйства указывает на громадную революционизирующую роль электроэнергии как в смысле непосредственного повышения производительности труда в сельском хозяйстве, так и в отношении подъема общего культурного уровня колхозников и коренного улучшения условий их быта.

Большое внимание и помощь со стороны партии и правительства делу развития малой гидроэнергетики обязывают сосредоточить все усилия на скорейшем преодолении указанных выше недостатков и трудностей роста и обеспечить социалистическому сельскому хозяйству создание мощной и высококачественной энергетической базы в виде тысяч новых эффективных гидроэлектрических установок.

Серьезную помощь в решении этой народно-хозяйственной задачи должны оказать научно-исследовательские институты во главе с Академией наук СССР. Созываемое Академией наук в I квартале 1941 г. специальное совещание по проблеме освоения малых рек должно будет сыграть в этой области значительную роль.

Использование малых вододействующих установок для электрификации сельского хозяйства¹

Н. А. КАРАУЛОВ

Энергетический институт Академии наук СССР

Среди вопросов строительства малых гЭС в целях электрификации сельского хозяйства недостаточно введена важная задача использования готовых плотин и перепадов.

Следует отметить, что специальное постановление ЦКМ Совнаркома СНК СССР от 26 июня 1939 г. прямо указывает, что «при отборе объектов строительства малых гидростанций ориентироваться, в первую очередь, на использование существующих плотин и перепадов...».

На малых реках Союза ССР располагается не только десятков тысяч небольших вододействующих силовых установок, главным образом мельниц. Плотины этих установок на многих реках, например, в нижней полосе Европейской равнины СССР, нередко образуют взаимно смыкающиеся бьефы, что превращает такие малые реки в непрерывную цепь искусственно глубоких водоемов или плесов с замкнутым течением, перемежающихся в местах сочений сосредоточенными перепадами.

Первая нам известная попытка учесть и охарак-

теризовать малые вододействующие силовые установки была произведена в 1912 — 1913 гг. VI отделом Русского технического общества. В результате этого обследования получены следующие данные, отнесенные к теперешней территории СССР. Всего было зарегистрировано на малых реках 40 397 установок общей мощностью 512 240 л. с. при средней мощности одной установки 12,7 л. с. (9,4 kW). Из суммарной установленной мощности 18,4% были представлены водяными турбинами и 81,6% — водяными колесами. По количеству двигателей водяные турбины составляли всего 6%. Для центра Европейской равнины СССР средняя мощность мельничной установки составляла величину порядка 15 л. с. (11 kW).

Далее, в 1925 г. на территории бывшей Тверской губернии вододействующие силовые установки были обследованы инженерно-мелиоративным подотделом Тверского ГЗУ. Были обследованы 663 водяные мельницы общей мощностью 12 257 л. с. при средней мощности установки 18,5 л. с. (13,5 kW).

Для Тверской губернии площадь территории, обслуживавшаяся одной водяной мельничной установкой (91,4 km²), была относительно невелика и, в частности, приблизительно вдвое меньше этой же площади, средней для всего Союза (194 km²).

¹ Включение из работы автора, являющейся частью большого исследования, посвященного научным основам электрификации сельскохозяйственных районов, выполненного в отделе общей энергетики под руководством члена-корреспондента Академии наук проф. В. И. Вейца.

Несколько позже — в 1925 — 1928 гг. Центральной гидрологической станцией Наркомзема были обследованы существующие плотины в районе средней полосы Европейской равнины СССР. Это обследование показало, что средние напоры на плотинах изменяются для отдельных рек в пределах от 1,7 м до 4,37 м при средней величине напора 3,03 м. Важно также указание о том, что 61% обследованных плотин находилось в хорошем и удовлетворительном состоянии.

В 1939 г. Энергетический институт Академии наук СССР обследовал существующие вододействующие силовые установки в бассейнах рек Тьмы ($F = 1864 \text{ км}^2$), Медведицы ($F = 6530 \text{ км}^2$), Усты ($F = 5707 \text{ км}^2$) и Пьяны ($F = 7878 \text{ км}^2$), принадлежащих бассейну р. Волги. Всего на этих реках изучено 90 установок.

Эти обследования показали, что существующие мельничные силовые установки загружены очень слабо. Среднее использование их изменяется от 823 ч на юге до 505 ч на севере Горьковской области.

Из данных, полученных нашим обследованием, вытекает, что в центральном районе Европейской равнины СССР возможно переоборудовать в малые гэс мощностью 10—30 кВт всего около 1500 существующих установок общей мощностью порядка 30 МВт, способных обслужить около 300 000 колхозных дворов или 3000 колхозов.

Для средней полосы Европейской равнины СССР по отношению к рассматриваемой здесь проблеме важно знать следующее: порядок величины мощности, которую в преобладающем числе случаев можно получить на существующих мельничных створах; наиболее часто встречающиеся величины напора водяных мельниц; состояние сохранности плотин и силового аппарата мельниц; перспективы для повышения существующих напоров и используемых сейчас мощностей вододействующих силовых установок; технические возможности для установки турбин и генераторов в мельничных зданиях и система привода к мельничному поставу; требования, предъявляемые к гидро- и электромеханическому оборудованию, устанавливаемому на мельничных гэс, и перспективы применения автоматики в этой области; первоначальная и перспективная энергетическая задача малых мельниц гэс и оптимальный режим их работы; экономические предпосылки для использования готовых перепадов в целях сельской электрификации и преимущество этого мероприятия перед сооружением гэс заново.

Располагая ответами на поставленные здесь вопросы, можно подойти к решению ряда других задач более общей, основной проблемы, касающейся реконструкции всего энергобаланса сельскохозяйственного района.

Широкое применение готовых плотин и перепадов в деле развертывания малого гидроэнергостроительства (от 10 кВт до 30 кВт), рассматриваемое, как весьма рациональное использование крупнейшего внутреннего резерва, никаким образом не должно и не может устранить необходимости в строительстве более мощных небольших гэс (более 30 кВт). Более того, преобладающая часть вводимой мощности небольших гэс должна быть представлена именно этим типом более крупных небольших гэс, возведенных в большинстве случаев при вновь сооруженных плотинах и построенных с применением усовершенствованного оборудования и улучшенных строительных конструкций инженерного типа, хотя

по количеству введенных единиц, мельничные гэс могут и преобладать.

Малая мельничная гэс, сооружаемая в средней полосе Европейской равнины СССР в соответствии с теми требованиями, которые к ней предъявляет колхозным сельским хозяйством, должна отличаться следующими особенностями:

а) гэс сооружается на базе существующей водяной мельницы с использованием готовой плотины и также по возможности существующего мельничного здания, что, как показывает опыт, дает экономию до 40—50% на первоначальных капитальных вложениях; на гэс применяется гидромеханическое оборудование упрощенного типа;

б) гэс является комбинированной установкой, которой осуществляется механический привод турбины к электрическому генератору, к мельничному жернову и к сельскохозяйственным машинам орудиям;

в) гэс осуществляет начальную электрификацию колхозных хозяйств при несколько пониженных удельных нормах электропотребления.

При этом, однако, необходимо учитывать, что базировать на готовых сооружениях следует в первую очередь небольшие гидроэлектрические установки мощностью 10—30 кВт. Только для установок такого интервала мощности рационально применять гидромеханическое оборудование упрощенного типа. Однако в ряде единичных случаев сооружения при готовых плотинах более мощных гэс (50—100—200 кВт) представляется возможным и необходимым.

В условиях малых вододействующих силовых установок мощностью менее 30 кВт, в отличие от более мощных гэс, явно преобладает ряд положительных качеств механического привода ряда сельскохозяйственных машин (мельничный привод) над достоинствами их электродвигательного привода. Пуск электродвигателей переменного тока при мощности его, близкой к мощности генератора, очень затруднителен, часто даже невозможен. При расположении как водяной турбины, так и мельничного поставу под одной кровлей электродвигатель является лишним удорожающим звеном. Малые электродвигатели пока дефицитны, вследствие чего отказ от них в малых гэс очень желателен.

При этом не исключается также целесообразное применение отдельных малых электродвигателей (до 5 кВт), параллельно с механическим приводом более мощных сельскохозяйственных машин.

Малые гэс на базе готовых плотин и перепадов особенно широко должны будут создаваться в ближайшие годы — в начальных условиях развертывания электрификации социалистического сельского хозяйства при незначительной пока потребности в электроэнергии в энергобалансе местных сельскохозяйственных районов.

С точки зрения экономики электроснабжения и выборе объектов сооружения малых мельничных гэс в первую очередь следует останавливаться тех нередко встречающихся случаях, когда можно осуществить питание электроэнергией достаточно крупных колхозных селений, располагающих в непосредственной близости от установки и поэтому не требующих длинных питательных линий. В этом случае часто представляется возможным передавать электроэнергию генераторным напряжением, что со своей стороны имеет значительные технические и экономические достоинства, весьма ценные в особенности для мельничных гэс.

Годичная характеристика мощности гЭС

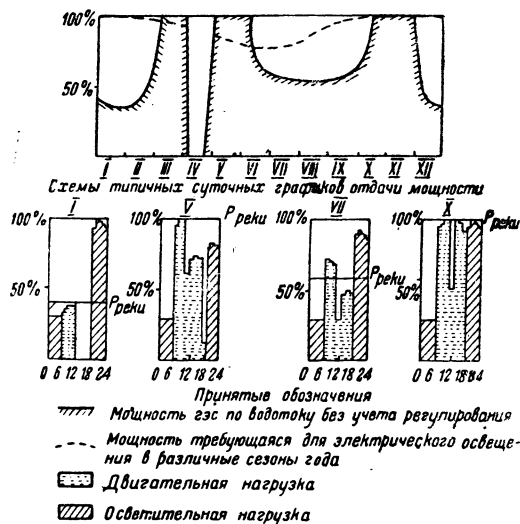


Рис. 1
Малая гЭС.

Главным потребителем электроэнергии малых мельничных гЭС является осветительная нагрузка.

Сельскохозяйственная двигательная нагрузка от турбины, вместе с мельничным приводом, может и должна удовлетворяться преимущественно в те периоды года, когда мощность потока велика — весной и осенью, т. е. тогда, когда установка (турбина) длительную часть суток может работать всей своей мощностью.

Из сопоставления ряда противоречивых факторов, характеризующих малую мельничную гЭС, следует, что отрицательные для экономики черты установки: несколько пониженное значение коэффициента использования электрической части установки и уменьшенные удельные нормы электропотребления могут и должны компенсироваться чертами положительными — использование готовых гидротехнических сооружений и уменьшенная протяженность электрической сети.

Указанный путь экстенсивной, если так можно назвать, электрификации колхозного села от мельничной гЭС при некотором регулировании электропотребления должен рассматриваться лишь как временный.

Надлежащая интенсивная электрификация колхозного хозяйства, с применением электродвигательного привода, должна быть выполнена путем объединения ряда малых сельских электросетей в одну крупную, с питанием последней от более мощных и лучше зарегулированных гидравлических электростанций, а также тепловых (газогенераторных) электростанций или же путем присоединения районным высоковольтным электрическим сетям.

* *

Особенности малых мельничных гЭС лучше всего могут быть выявлены при сравнительном рассмотрении условных графиков мощности соответственно небольшой гЭС и для малой мельничной гЭС, приведенных на рис. 1 и 2.

Приведенные годовые графики схематически показывают ход изменения мощности гЭС по водотоку с указанием: минимальной мощности, связанной с наименьшими расходами воды в реке; периода максимальной мощности гЭС, охватывающего весну и лето и включающего апрельскую паузу в работе, которая связана с падением величины напора на месяц и более при прохождении пика ве-

сенного паводка; малых мощностей гЭС во время периода летней межени; второго повышения мощности гЭС, связанного с осенними дождями.

Пунктирной жирной линией на графике показана мощность, требующаяся для удовлетворения осветительного графика, т. е. дана линия максимумов осветительной нагрузки. Для мельничной гЭС летнее снижение пика осветительной нагрузки повидимому должно быть более значительным, так как гЭС этого типа практически будут питать главным образом бытовое освещение, при незначительном влиянии более постоянной осветительной составляющей производственного освещения.

Для мельничной гЭС при установлении режима покрытия графика осветительного электропотребления следует исходить из некоторой минимальной, но достаточно удовлетворительно отвечающей запросам потребителей мощности осветительных точек, которая должна рассматриваться, как расчетная присоединенная их мощность и которая обычно приключается к сети на зимний маловодный период года. В те же сезоны года (весна, начало лета, осень), когда располагаемая мощность гЭС возрастает, возможно несколько увеличить световое электропотребление сверх минимально достаточного, путем установки других более мощных электроламп. Этим последним мероприятием и следует ограничить регулирование осветительного энергопотребления малых мельничных гЭС, без нарушения интересов потребителей электроэнергии.

Для пояснения изложенных выше положений полезно рассмотреть условный схематический график работы малой мельничной гЭС за характерные сутки в различные сезоны года.

Зимний январский график может состоять только из питания вечерней осветительной нагрузки. Чаще всего поток малого водосбора практически исключает возможность удовлетворения двигательной нагрузки в зимнее время.

Майский весенний график нагрузки характеризуется возможностью работать круглые сутки полной мощностью установки, не прибегая при избытке воды к суточному регулированию. В это светлое время года снижается использование присоединенной осветительной мощности, открываются возмож-

Годичная характеристика мощности гЭС

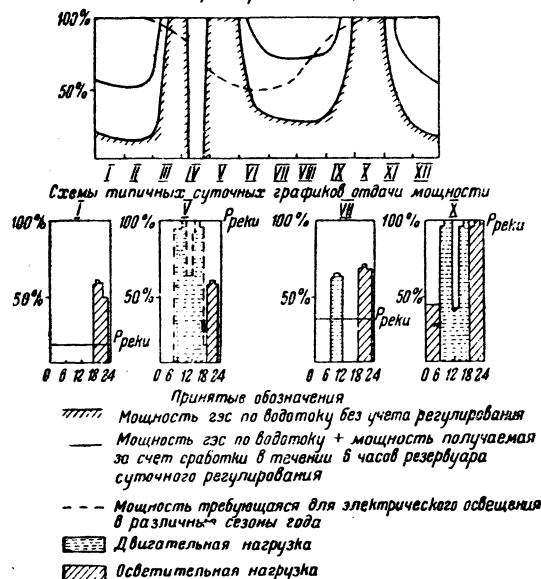


Рис. 2
Малая мельничная гЭС.

ности для включения на неограниченное время в течение суток двигательной нагрузки.

Следует отметить, что к весне почти вся продукция сельского хозяйства, собранная предыдущей осенью, оказывается обработанной. Поэтому весенняя механическая нагрузка малой гэс может базироваться скорее на производствах, связанных с кустарными промыслами, с заготовкой и обработкой местных строительных материалов и прочее.

В весенний сезон, когда гидростанция работает полной или большой мощностью, как известно, включается период остановки гэс, связанный с прохождением паводка. В случае малых мельничных гэс, эта пауза в работе естественно и неизбежно связана с полным прекращением отдачи энергии потребителям иногда на длительный срок. Однако в условиях электрификации колхозного села, располагающего в настоящее время сложным сельскохозяйственным инвентарем, допустимость перерыва в энергоснабжении требует особого рассмотрения и, в частности, исследования возможностей временного применения теплового резерва в виде, например, тракторного привода электрогенератора и т. д.

Суточный график августа месяца характеризуется небольшими междневными расходами воды в реке, несколько возросшим осветительным электропотреблением и появлением сельскохозяйственной двигательной нагрузки, связанной с реализацией урожая текущего года (молотьба, начало помол зерна и пр.).

В этот месяц, помимо осветительной нагрузки, возможно также удовлетворение некоторой производственной двигательной нагрузки, что для сельского хозяйства в это время особенно важно.

В октябре месяце, так же как и в мае, в средний год расходы воды потока позволяют малой гэс работать полной мощностью. Осветительная нагрузка в это время возрастает до своего максимума и удовлетворяется полностью. Производственная двигательная нагрузка широко предъявляется со стороны колхоза и может быть также полностью удовлетворена благодаря возросшей, вследствие осенних дождей, мощности потока.

Октябрь месяц в средней полосе Европейской равнины СССР является сезоном наиболее интенсивной работы малых гэс.

Приведенное рассмотрение вскрывает особенности режима работы малых мельничных гэс и указывает принципиальные основы выбора их установленной мощности, заключающиеся для типичного случая в том, что мощность электрического генератора устанавливается, исходя из зимней мощности водотока, при суточном регулировании, обеспечивающем осветительную нагрузку, а мощность водяной турбины должна соответствовать мощности генератора или мощности крупнейшей приводимой сельскохозяйственной машины.

**

Машинное и механическое оборудование малых мельничных гэс должно быть безусловно надежным, иметь достаточно высокий к. п. д. и вместе с тем должно быть максимально простым и экономичным. Кроме того, оборудование малых мельничных гэс мощностью 10—30 kW должно отвечать комплексной задаче последних.

Против территориального совмещения под одной кровлей мельницы и электростанции может быть выдвинуто возражение, сводящееся к тому, что

мучная пыль, взвешенная в воздухе, в известных условиях способна взрываться. Однако в рассматриваемом случае мельничной гэс это возражение опадает, вследствие того, что мельница и генератор должны работать одновременно и в отдаленных друг от друга помещениях.

Сельские вододействующие силовые установки (мельницы), расположенные, в частности, в средней полосе Европейской равнины СССР, оборудованы преимущественно обыкновенными деревянными наливными и подливными водяными колесами. Однако в отдельных областях Европейской равнины СССР дело обстоит иначе. Так, в Калининской области в течение ряда лет интенсивно производится замена деревянных водяных колес значительно более удобными кустарными турбинами. Эти кустарные турбины обыкновенно принадлежат к группе турбин аксиального типа, близкого к турбине Жонваля, хотя некоторое распространение имеют и радиальные турбины типа Френсиса. Турбины изготовляются диаметром приблизительно до 1,5 m и делают 50—60 об/мин, т. е. в 3—10 раз больше, чем обыкновенные деревянные колеса.

Гидротурбины мощностью 10—30 kW, предназначенные для малых гэс, могут быть по конструктивным признакам подразделены на три группы:

а) водяные турбины упрощенной системы и конструкции, специально предназначенные для изготовления их на технически скромно вооруженных небольших заводах и мастерских;

б) водяные турбины нормальной общепринятой конструкции, предназначенные для выпуска их на действующим образом оборудованными машиностроительными заводами;

в) комплектные автоматизированные гидротурбинные агрегаты, типа «Микрогэс», получившие в последнее время известное распространение за границей.

К группе водяных турбин упрощенной конструкции в известной степени могли бы быть отнесены водяные двигатели, изготавливаемые кустарными турбиностроителями, если они опираются при выборе основных параметров своих машин на новейшие достижения в области теории расчета водяных турбин, сохраняя, однако, предельную простоту конструктивного оформления изделий (полукотельные, железные, клепаные и кованые детали).

Турбина Френсиса, по видимому, является наиболее пригодным типом, предназначенным для изготовления в упрощенном конструктивном оформлении. В пользу применения турбины Френсиса служат также то, что пропеллерные турбины высокой простоты требуют весьма громоздкой всасывающей трубы, сильно удорожающей гэс.

Ко второй группе принадлежат нормальные гидротурбины, изготавливаемые, например, заводом им. Калинина. Для установки на малых мельничных гэс водяные турбины нормального типа в серийном их выпуске в известных условиях могут быть пригодны, хотя представляется необходимым пересмотреть их конструкцию с точки зрения упрощения и удешевления.

К третьей группе автоматизированных комплектов гидротурбинных агрегатов прежде всего должен быть отнесен агрегат «Микрогэс», разработанный совместно «Ленводпроином», Ленинградским индустриальным институтом и заводом «Электросила» им. Кирова.

«Ленводпроин» указывает на то, что агрегат «Микрогэс» пригоден также для установки на су-

вующих водяных мельницах. При этом указывается, что возможны два варианта технического решения:

а) Существующее водяное колесо сохраняется и «Микрогэс» ставится дополнительно с целью выработки энергии только для осветительных целей. При этом решении исключается реконструкция силовой базы сельскохозяйственного мукомолья, которое остается при своем несовершенном деревянном водяном колесе, вследствие низкого к. п. д. бесполезно потребляющем большое количество лишней воды.

б) «Микрогэс» устанавливается несколько увеличенной мощности, водяное колесо демонтируется, и мельничный постав приводится в действие от электродвигателя. Однако такое решение редко приемлемо для случаев гэс мощностью менее 30 kW.

В условиях современного колхозного хозяйства, особую актуальность автоматизация приобретает преимущественно в отношении не самых малых, но несколько более крупных гэс, мощностью начиная приблизительно от 100 kW и выше, так как в последних случаях автоматизация может освободить достаточно квалифицированных специалистов (электромонтеров и электромехаников, а не малоквалифицированных рабочих в случае самых малых гэс).

Этот тезис никаким образом не может служить основанием для отрицания необходимости разработки и скорейшего внедрения в практику, в частности, в области самых малых гэс, новых значительно упрощенных схем автоматизации.

Особо важное значение имеет для первичного двигателя малой мельничной гэс вопрос о конструкции механического привода и о редукторе числа оборотов.

При этом основные параметры (в частности число оборотов) турбины и привода безусловно должны рассматриваться и выбираться в строгой взаимосвязи и с учетом того, что число оборотов электрического генератора стандартно (1000 об/мин).

В условиях низких напоров (чаще всего 2—1,5 м), которыми располагают малые мельничные гэс средней полосы Европейской равнины СССР, число оборотов турбины по существу определяется тем типом примененной турбины. Так, число оборотов менее быстроходной турбины Френсиса в зоне наиболее распространенных напоров и мощностей может быть доведено приблизительно до 200—250 мин., а более быстроходной турбины Каплана — до 450—500 в мин.

Отсюда применение быстроходных типов вертикальных водяных турбин (турбина Каплана) целесообразно лишь в том случае, если одна коническая бчатая передача способна точно довести число оборотов вала до числа оборотов генератора. В этом случае получается удобная однократная система привода, вместо двукратной при ином решении, с существенно уменьшенными потерями.

В противоположном же случае, при невозможности

путем применения одной ступени привода получить на горизонтальном валу то число оборотов, что и число оборотов генератора, т. е. при двукратной системе привода от турбины к генератору, вполне достаточным является число оборотов водяного двигателя равное 100—200 в мин., достижимое при турбине Френсиса. В этом случае огпадает необходимость в более дорогих и сложных турбинах системы Каплана и Каплана-Томанна.

Использование готовых гидротехнических сооружений может дать экономию по капитальным затратам в размере до 40—50%, при условии отсутствия затрат на ремонт плотины.

В качестве иллюстрации полезно привести приближенные данные по одному из проектов создания малой гэс мощностью 15 kW, $H = 2,5$ м на базе водяной мельницы, с использованием готовой плотины и с установкой электрического генератора в переустроенном здании мельницы.

Для этой гэс при капиталовложениях 44 200 руб. себестоимость энергии составляет:

Вид энергии	Выработка энергии в kWh	Годичные издержки в руб., И	Себестоимость 1 kWh в коп.
Механическая энергия на валу трансмиссии	35 000	4 190	12
Электроэнергия на шинах генератора	23 300	9 150	35
Электроэнергия у потребителя	21 700	10 580	45

Стоимость осветительной энергии 45 коп/kWh является приемлемой, так как при этом за две светоточки каждое колхозное хозяйство в среднем должно выплачивать в месяц 3 р. 75 к., что сравнительно с затратами на керосиновое освещение не является высокой суммой.

В том случае, если бы в условиях рассматриваемой модели гэс плотина, канал и здание гэс были сооружены заново, общие капиталовложения в малую гэс, включая сети и внутреннюю проводку, возросли бы на 64%, а капиталовложения на самую гэс без сетей — на 190%.

Представляет интерес отметить, что для указанной выше возможной суммарной мощности малых мельничных гэс центра Европейской равнины СССР, равной 30 MW, экономия в капиталовложениях в результате использования готовых гидросооружений составит значительную, сумму около 45 млн. руб.

Из всего сказанного становится ясной высокая энергетическая эффективность применения готовых плотин и перепадов в целях электрификации сельскохозяйственного сельского хозяйства.

„Микрогэс“—автоматические гидроэлектрические агрегаты для малой электрификации

Д. О. ГИНДУС
Ленинград

За последние 20 лет за границей широко стали применяться автоматические и полуавтоматические гидроэлектрические агрегаты, которые представляют собою комплектную маленькую гидроэлектростанцию, заключенную в кожух, вместе со всей аппаратурой управления и автоматикой, устанавливаемую на сооружениях упрощенного типа.

В 1937 г. в Ленинграде¹ была начата разработка вопроса о путях рационального использования огромного количества имеющихся в СССР перепадов на малых речках, ручьях и т. п., которые, протекая вблизи колхозов и совхозов, представляют постоянно возобновляемый источник дешевой энергии для электрификации сельского хозяйства.

Проблема создания компактного агрегата гидроэлектростанции мощностью 10—20 kW не встречает трудностей при напорах от 6 м и выше. Не то положение мы имеем при низких напорах; так, при напоре 2,5 м для получения от агрегата 10 kW мощности необходимо пропускать через турбину не менее 750 л/сек, а при напоре 1,5 м та же мощность требует уже 1100 л/сек воды. Очевидно, что такие расходы воды определяют уже довольно громоздкую турбину и, как следствие этого, более мощный автоматический регулятор скорости. Работы по конструированию низконапорных агрегатов, проведенные при непосредственном участии автора, показали, что наиболее удачные конструктивные решения могут быть получены с турбинами Рейффенштейна (плоские спирали с рабочими колесами Каплана) или с турбинами Каплана-Томанна в открытых камерах. Конструкции в котельном кожухе целесообразно применять лишь для расходов приблизительно до 500 л/сек, для больших расходов они получаются слишком громоздкими и неконструктивными.

При применении этих агрегатов, которые у нас получили название «Микрогэс», необходимо учитывать, что такие машины малого габарита по высоте непригодны для установки в затопляемой пойме; в этих случаях следует применять удлиненный вертикальный вал с установкой генератора и регуляторов выше горизонта высоких вод. Обычно это приводит к решению с установкой генератора во втором этаже (например, мельницы). Переходя к вопросу о компоновке агрегатов, приходится отметить, что вертикальные агрегаты более компактны и конструктивно изящнее, нежели горизонтальные. Это обстоятельство нашло отражение в конструктивных решениях большинства зарубежных фирм; особенно следует изучить массовые конструкции фирм, имеющих богатейший опыт выпуска и эксплуатации таких агрегатов, как например The James Leffel (Америка), Voith и AEG (Германия) (рис. 1 и 2). Горизонтальные агрегаты выпускаются редко; на них специализируется ряд фирм второстепенного порядка (Fitz Water Wheel Co и др.). Можно с уверенностью отметить, что при мощности до 40 kW вертикальные агрегаты конструктивно не будут уступать

горизонтальным, так как наиболее ответственную часть вертикального генератора — подпятник — в этих случаях можно сконструировать исключительно просто и надежно, а само изделие не выходит из рамок серийного выпуска.

Агрегат по возможности должен иметь непосредственный привод генератора от турбины; с другой стороны, стремясь к удешевлению агрегата, надежит переходить к генераторам больших скоростей вращения — 1000 и 1500 об/мин.

Незначительные диаметры ротора исключают появление особо больших усилий при разгоне; поэтому даже при расчете на 100% разгон (2000 и 3000 об/мин) такие машины вполне осуществимы в достаточно конструктивных формах. Как видно из сказанного, желательным решением, наиболее надежным и изящным, будет простая и грубая турбина с вертикальным валом, непосредственно соединенная с вертикальным же генератором.

Однако на сегодня нет рабочих колес, которые могли бы работать с $n_s > 800$ при достаточно высоком к. п. д. ($\eta > 0,80$). Поэтому при малых напорах (от 1,5 до 2,5 м) для мощности больше 5 kW неизбежно применение передачи зубчатой; текстом и т. п.

Данные серии 1 очереди «Микрогэс» таковы:

1. Напоры — от 1,5 до 35 м.
2. Расходы воды — от 40 л/сек до 1200 л/сек.
3. Диаметры рабочих колес — 200, 250, 350 mm.
4. Система турбин — Френсис и Каплан-Томанн.
5. Мощность — от 3 до 50 kW.



Рис. 1

¹ Трестом Гидропронз, который затем переформировался в Ленинградскую контору Главводстроя НКЗ СССР Ленводпронз.

6. Генераторы — трехфазного тока, синхронные — 15, 30 и 60 kVA, 1500 об/мин, и постоянного тока — 3 и 8 kW, 1400 об/мин.

В настоящее время имеется ряд соображений, по которым серия эта подлежит пересмотру под углом зрения уменьшения числа изделий и одновременно ее улучшения с точки зрения к. п. д.

В приведенной серии принято, что агрегаты, начиная с 10 kW и выше, должны отвечать условиям комплексной электрификации, т. е. питания осветительной и моторной нагрузок. До 8 kW агрегаты предназначаются только для питания освещения и потому намечаются на постоянном токе.

Регулирование. Основной проблемой при создании «Микрогэс» является вопрос регулирования; при этом, для агрегатов переменного тока необходимо поддерживать постоянными частоту и напряжение, а для агрегатов постоянного тока — только напряжение.

Ввиду того, что имеется возможность применить генератор «постоянного напряжения», на постоянном токе агрегат получается элементарно простым и, следовательно, надежным и дешевым. Никаких автоматических регуляторов здесь не требуется, ни на турбине, ни на генераторе.

При колебаниях числа оборотов турбины в соотношении 2:1, напряжение генератора остается постоянным с точностью 3—4%. Следует отметить опытные работы Харьковского электромеханического завода им. Сталина, который выпустил уже машину для «Микрогэс» такого типа на базе нормальной машины ПНВ 290.

Большим преимуществом этих генераторов является возможность изготовления их из нормальных машин постоянного тока, с незначительными переделками; основным в этих переделках является замена чередования полюсов, добавление обмоток и вырезы в сердечниках полюсов у их оснований. Очевидно, что такие генераторы не будут отличаться по цене от обычных серийных машин, так как по существу это будут те же нормальные машины с незначительными переделками. Необходимо отметить, что за границей генераторы «постоянного напряжения» получили за последние годы довольно широкое распространение.

На трехфазном токе агрегаты должны питать смешанную моторно-осветительную нагрузку; поэтому необходимы регуляторы числа оборотов турбины (частоты) и напряжения генератора.

Для частных случаев, не могущих рассматриваться как правило, агрегаты и на переменном токе могут не иметь регулирования частоты, а иметь только регулятор напряжения; к таким случаям относятся «Микрогэс» для питания исключительно осветительной нагрузки, для питания радиоузлов и т. п., частота не имеет того значения, какое она имела для электродвигателей.

Из числа регуляторов, применяемых в качестве типово-экспериментальных образцов, следует отметить:

Регулятор числа оборотов системы лаборатории механических машин Ленинградского индустриального института (осевой масляный регулятор, установлен на опытном образце № 1).

Гидродинамический регулятор числа оборотов системы Ленинградского металлического завода им. Сталина, масляный.

Электромеханический регулятор числа оборотов системы того же завода с жестким выключа-

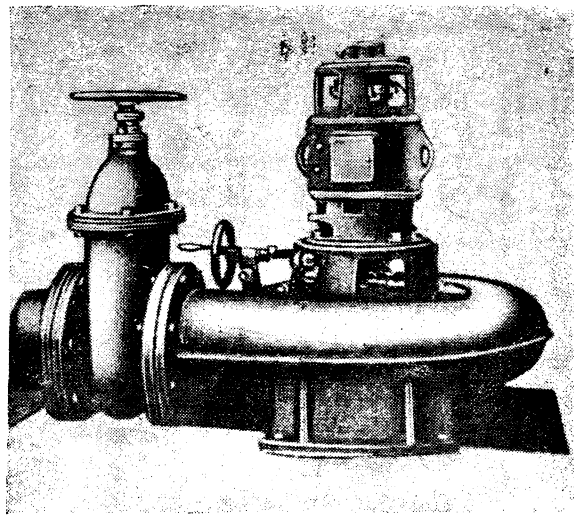


Рис. 2

4. Электромеханический регулятор числа оборотов и напряжения системы ВИМЭ по схеме инж. А. А. Глебовича.

5. Угольный регулятор напряжения Харьковского электромеханического завода им. Сталина.

6. Регулятор напряжения, состоящий из насыщенных дросселей и купроксных выпрямителей.

7. Регулирование напряжения при помощи кенотронного или купроксного выпрямителя, заменяющего коллектор, по предложению Ленинградского завода «Электросила» им. Кирова.

Укажем принципы устройства тех автоматических регуляторов, которые еще не были описаны в нашей литературе.

1. Регулятор числа оборотов ЛИИ (рис. 3) является осевым регулятором вращающегося типа. Масло под давлением подается маслососом через канал в полом вале в пространство над поршнем сервомотора. Под поршнем сервомотора дроссельным золотником поддерживается давление масла на одном уровне.

Действие золотника следующее: уравновешенный пружинами шарик дросселирует расход масла, меняя просвет для выхода масла из подвижной трубки. В эту последнюю масло поступает через отверстие в ней самой. Выключатель устроен следующим образом: палец, жестко связанный с поршнем сервомотора, действует на коромысло, которое заставляет ползун двигаться обратно движению поршня. С ползуном жестко связан рычаг выключения, скоп которого подает подвижную трубку, прижимая ее к шарик. Этим достигается закрытие доступа масла в нижнюю полость под поршень сервомотора, вследствие чего поршень движется вниз, осуществляя закрытие лопастей турбины.

Благодаря наличию пружины возврата на регулирующем штоке поршень всегда стремится занять положение надлежащего открытия, т. е. положение готовности для последующего пуска.

2. Гидродинамический регулятор числа оборотов осуществляет регулирование предельно-примитивным для масляного регулирования способом: зубчатый масляный насос вращается от вала турбины при помощи передачи и в зависимости от изменения числа оборотов развивает давление, большее или меньшее нормального, вследствие чего поршень сервомотора получает нужное перемещение.

3. Электромеханический регулятор в своей схеме (рис. 4) предусматривает «жесткий выключатель»,

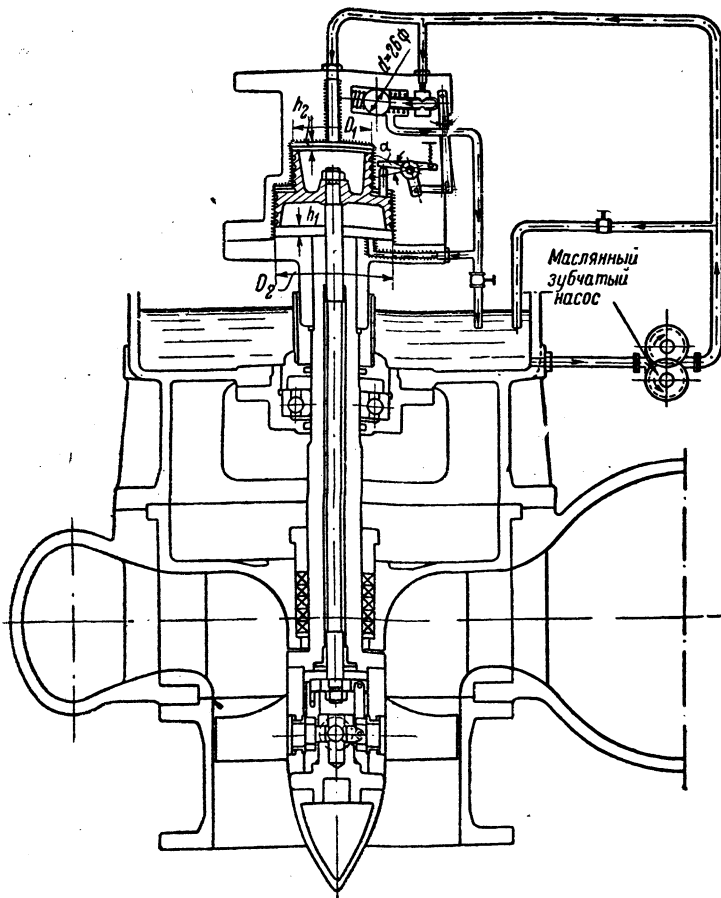


Рис. 3

следовательно, в ней заложен принцип регулирования с остающейся степенью неравномерности. Таким образом каждому положению лопаток рабочего колеса (т. е. определенной мощности на валу турбины) соответствует некоторое определенное число оборо-

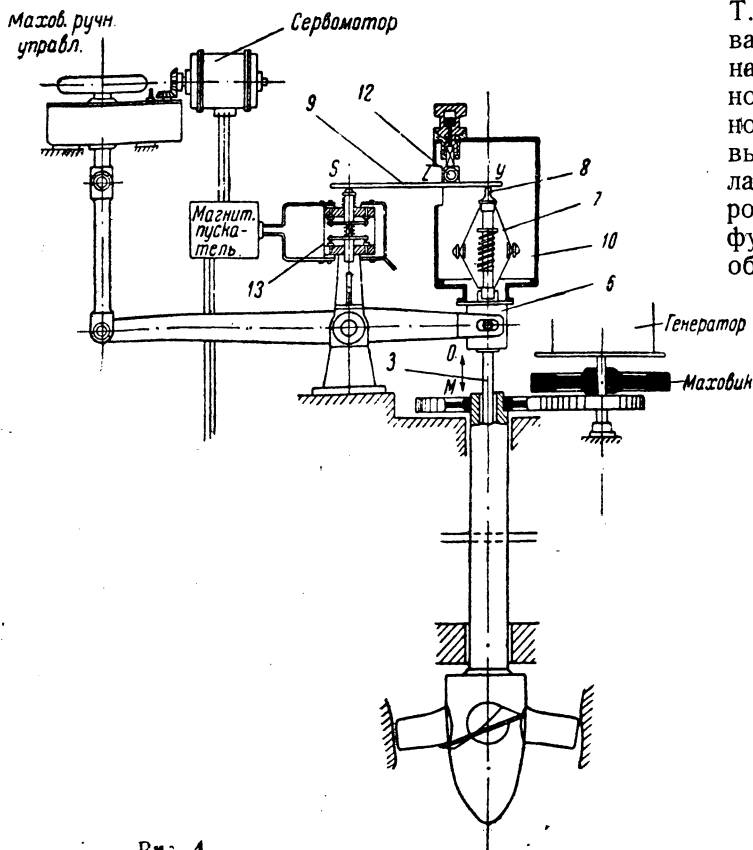


Рис. 4

тов турбины. Приспособления для изменения остающейся степени неравномерности δ_i не имеет, а потому она неизменна. В первых образцах предусмотрена $\delta_i = \pm 5\%$.

На верхнем конце регулирующей штанги 3 укреплен центробежный маятник 7, который вращается с тем же числом оборотов, что и вал турбины, одновременно совершая осевые перемещения вместе со штангой 3. При увеличенном числе оборотов турбины штифт 8 опускается, при уменьшенном числе оборотов поднимается. Штифт маятника находится в силовом замыкании в точке Y с рычагом 9, который может поворачиваться вокруг точки Z механизма 12 жестко скрепленного кожухом 10 с коробкой 6. Другой конец рычага 9 находится в силовом замыкании с контактором 13 (точка S).

Точка Z копирует движения штанги. Контакт 13 установлен неподвижно и имеет 2 пары контактов, причем при некотором среднем положении точки S обе пары контактов разомкнуты, а при отклонении точки S вверх или вниз замыкается та или иная пара контактов, что вызывает пуск электрического двигателя-сервомотора (через промежуточное реле и магнитный пускатель реверсивного типа) соответственно на закрытие или открытие лопаток рабочего колеса.

Установившийся режим турбины соответствует среднему положению точки S.

4. Электромеханический регулятор числа оборотов и напряжения был описан в наших журналах («Электричество» № 8, 1939 и «Механизация и электрификация сельского хозяйства»).

5. Угольный регулятор был описан в журнале «Вестник электропромышленности» № 2 за 1940 г.

6. Регулятор напряжения описан в журнале «Электричество» № 8 за 1939 г. Недостатком его является относительная громоздкость и наличие 16 шт. купроксных выпрямительных элементов.

7. На заводе «Электросила» им. Кирова инженер Т. Г. Амбарцумовым предложена система регулирования напряжения без специальных регуляторов напряжения, за счет свойств самой схемы синхронного генератора, состоящего в основном из статора нормального асинхронного двигателя, ротора с явно выраженными полюсами и купроксного или дугового лампового кенотронного выпрямителя, играющего роль коллектора. Основное условие для надежного функционирования схемы — поддержание числа оборотов турбины на постоянном уровне, с остающейся степенью неравномерности регулирования не более 5—6%.

Следует отметить, что это предложение в основном разрешает и технико-эконом-

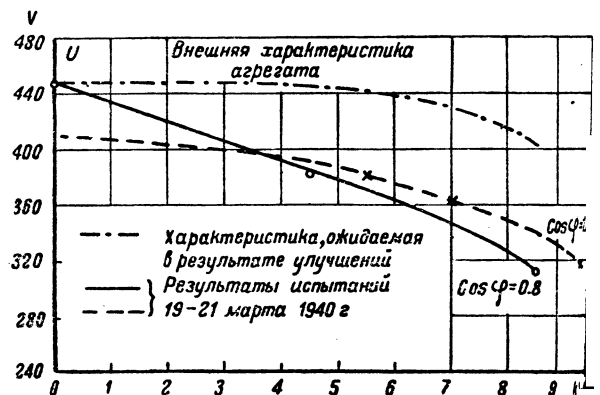


Рис. 5

ческую сторону проблемы создания массового типа генератора для «Микрогэс», поскольку машина создается на базе серийного изделия, проходящего по отделу нормальных машин.

Противоаварийная автоматика. Специфической особенностью эксплуатации агрегатов «Микрогэс» является полное отсутствие квалифицированного надзора. Анализируя возможные аварии, приходим к выводу, что по внешнему эффекту их можно подразделить на две основных категории: аварии, угрожающие сети, т. е. безопасности людей; аварии, угрожающие только самому агрегату, т. е. его целостности и исправности.

Вероятность аварий первой категории должна быть по возможности совершенно исключена, или они должны быть локализованы в пределах схемы «Микрогэс»; условия безопасности должны быть многократно гарантированы.

В отношении аварий второй категории не следует «перестраховывать» агрегат, поскольку эти «перестраховки» усложняют машину; здесь можно ограничиться более простыми мерами.

Поэтому из дальнейшего изложения видно, что особое внимание уделено появлению на зажимах агрегата повышенного против нормального напряжения.

Необходимо отдать себе отчет, что только исключительно простые устройства могут надежно эксплуатироваться в условиях отсутствия квалифицированного надзора. Всякая защита, усложняет аг-

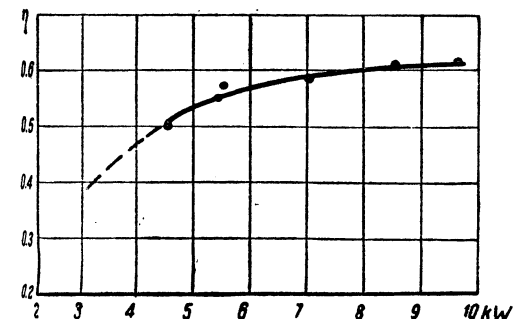


Рис. 6

егат, причем сами по себе приборы защиты являются весьма сложными устройствами и, что самое главное, требуют периодической наладки и технически квалифицированного надзора. Без этого самая технически совершенная защита с первых же дней эксплуатации превратится в мертвый груз, небудущей используемой из-за разладки, мелких неисправностей и т. п. Так как в рассматриваемом случае почти всегда технический надзор отсутствует и, как правило, никаких периодических наладок защиты провести не удастся, то и приходится сделать вывод, что автоматизация в данном случае должна опираться, главным образом, к грубым и надежным конструктивным решениям.

Лишь в виде вынужденной меры целесообразно перейти на аппаратурную защиту и то только грубую, без сложных реле и многочисленных контактов. В свете изложенного защита агрегатов ограничивается автоматическим затвором турбины и автоматическим ослаблением возбуждения генератора, причем эти автоматы действуют при разгоне от центробежных реле.

Можно защитить таким образом двукратно — торможением и снятием возбуждения; при этих услови-

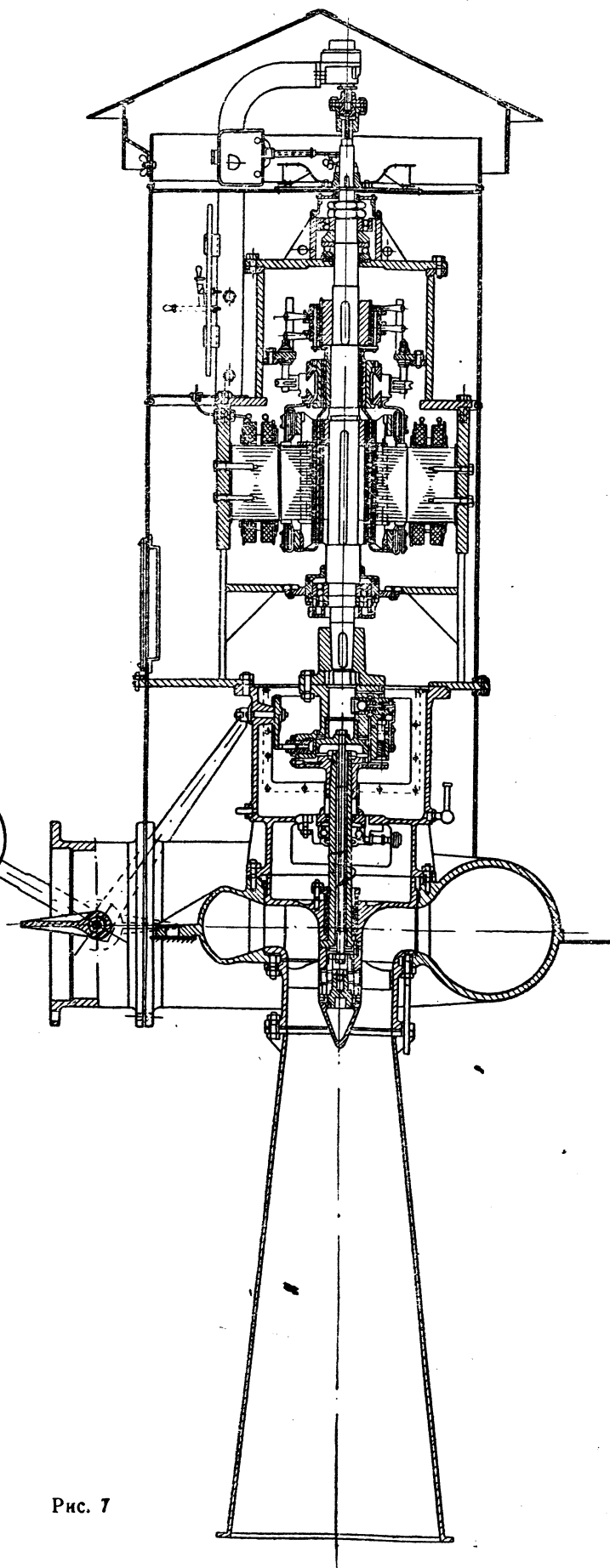


Рис. 7

ях повышение напряжения в сети ограничивается значениями, которые дает сам генератор при 100% сбросе нагрузки, а повышение напряжения сверх того, от разгона, вызывает сработку защиты.

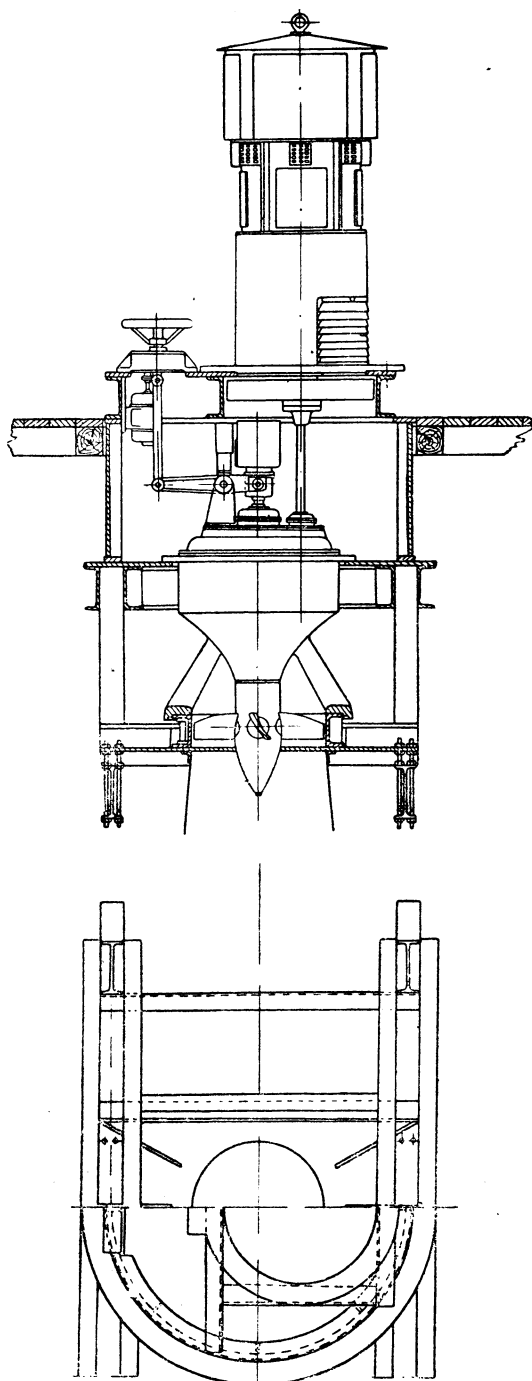


Рис. 8

Результатом изучения вопроса можно считать вывод, что вместо автоматизации останова машины, вследствие аварии с подпятником или подшипниками, следует обеспечить такие расчетные и практические запасы прочности и выносливости этих частей, которые исключали бы возможность подобных аварий. В связи с небольшими абсолютными величинами усилий в подпятнике — это путь наиболее простой и в то же время надежный. Поэтому в опытных машинах вместо автоматического останова агрегата при перегреве шарикового подшипника предусматривается, что он может вынести длительный разгон без каких-либо повреждений.

Опытный образец № 1². Агрегат (рис. 7) предназначен для напора $H = 6,0$ м и расхода воды $Q = 250$ л/сек. Мощность на зажимах генератора

² Гидромеханическая часть агрегата спроектирована и выполнена по договору с Ленводпроизом лабораторией гидравлических машин Ленинградского индустриального института, а электрическая часть — заводом „Электросила“ им. Кирова.

3,5 kW. Генератор — трехфазного тока 400/230 V, 1500 об/мин, имеет непосредственное жесткое соединение с турбиной.

Регулирование агрегата производится регулятором числа оборотов ЛИИ; регулирование напряжения в первоначальной конструкции, испытания которой произведены в марте 1940 г., осуществлялось самой схемой генератора.

Турбина Каплана-Томанна, с рабочим колесом ВК-3 лаборатории гидравлических машин ЛИИ, диаметром 250 мм в литой чугунной спирали сжатых габаритов. Входной патрубок имеет диаметр 360 мм в свету.

Перед турбиной имеется автоматический затвор, действующий от центробежного ограничителя скорости, который может быть отрегулирован на любое число оборотов, начиная от 1600 об/мин и выше. Нормально автомат срабатывает при достижении 1800—2000 об/мин.

Регулирование турбины осуществляется гидравлическим масляным сервомотором, поршень которого

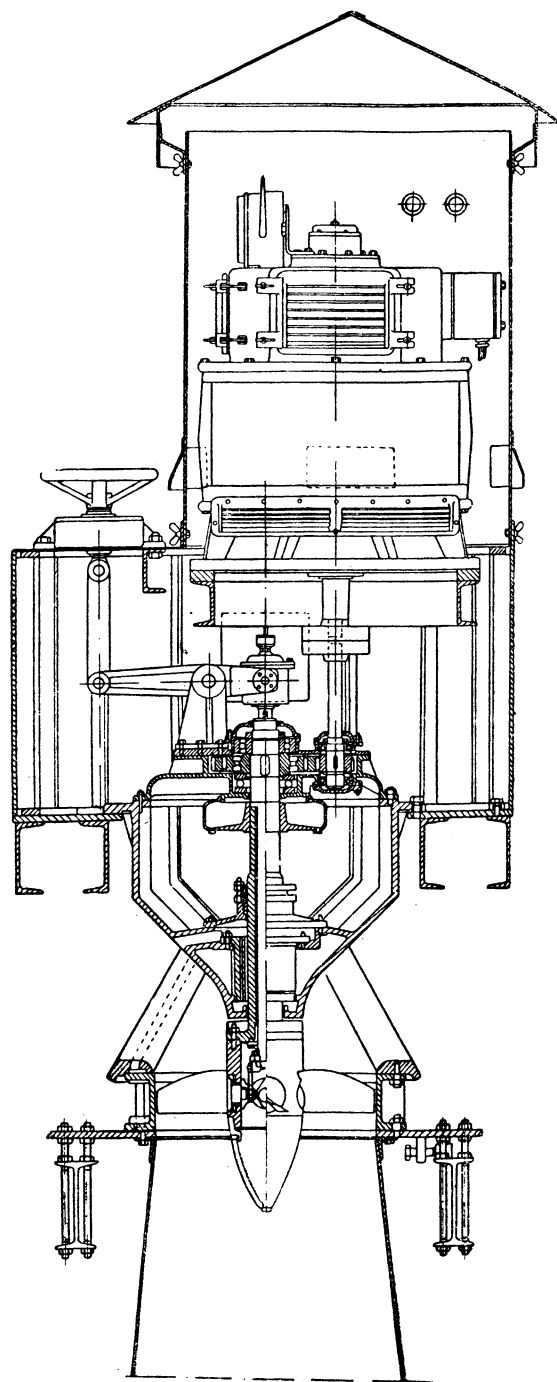


Рис. 9

го насажен на регулируемую штангу, соединенную с кривошипным механизмом для поворота лопастей во втулке рабочего колеса. Корпус регулятора вращается с валом. Зубчатый масляный насос, помещенный над генератором, подает масло через полый вал генератора в полость над поршнем сервомотора. Давление масла — 20 ат, усилие на регулирующей штанге — 65 кг. Работоспособность сервомотора, необходимая для регулирования лопатками рабочего колеса, всего лишь 1,3 кг.

Генератор выполнен обращенного типа — путем переделки машины постоянного тока габарита ИВ-290; съем тока с ротора при помощи 4 колец щеток. Возбуждение осуществимо от дополнительной обмотки, наложенной на ротор, через коллектор, расположенный под кольцами. Напряжение на щетках коллектора — 150 В, максимальный ток возбуждения — 5,3 А. В цепи возбуждения предусмотрено изменяемое сопротивление, которое служит для начальной установки напряжения («юстировки»). Повышение напряжения при сбросе нагрузки до холостого хода $\Delta V = 16\%$, по данным испытаний. Маховой момент генератора — около 3,5 кг/м².

Результаты испытаний показали необходимость внесения улучшений в систему регулирования агрегата в целом. На рис. 5 приведены внешние характеристики, на рис. 6 рабочая характеристика агрегата. Указанная в схеме защита — устройство для разрыва цепи возбуждения при разгоне — не испытывалась, так как не была смонтирована заводом.

В итоге испытаний решено отказаться от дальнейшего применения генераторов с саморегулированием по этой системе; на следующих опытных агрегатах будут установлены генераторы другой схемы. В части регулирования числа оборотов, степень неравномерности, доходящая в испытанном образце до 11—13%, не может считаться удовлетворительной, и желательно ввести улучшения регулятора с тем, чтобы степень неравномерности была не более 6%. Имеется также ряд выводов и в части машинной системы и др.

Первый опытный агрегат смонтирован на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке с тем, что после закрытия сезона 1940 г. агрегат будет реконструирован в соответствии с результатами испытаний.

Опытный агрегат № 2³. Опытный агрегат «Микрогэс» № 2 (рис. 8) предназначен для малых напоров и относительно больших расходов воды.

Технические данные агрегата следующие:

Напор м	Расход л/сек	Мощность турбины л. с.	Мощность генератора, кВт
1,5	600	9,6	4,3
2,0	776	16,3	9,4
2,5	860	22,7	13,4

Агрегат имеет вертикальную турбину типа Каплана, диаметр 500 мм, нормальным числом

лопастей — Ленинградского завода им. Сталина; генератор — «Электросила» им. Кирова; регулирование — ряда организаций, предложивших свои опытные конструкции; компоновка агрегата в целом — Ленводпроиза; спроектирован агрегат

оборотов 470 в минуту. Турбина снабжена чугунным, коническим, неподвижным направляющим аппаратом, отлитым как одно целое с нижним направляющим кольцом и верхней крышкой турбины; рабочим колесом К-70 (завода им. Сталина) с 4 профилированными поворотными лопастями. Поворот лопастей осуществляется кривошипным механизмом, связанным штангой, проходящей через сверленный вал, с рычагом регулятора. Направляющий подшипник — резиновый с забором воды для смазки непосредственно из напорного бассейна. Всасывающая труба прямая коническая из листового железа. Вал турбины через редуктор, состоящий из пары шестерен с прямым зубом, соединяется с валом генератора.

Генератор агрегата — вертикальный, синхронный, трехфазного тока, типа МСВ 24,5/II—4,15 кВА, 12 кВт, коэффициент мощности 0,8, 400/230 В, 21,6 А, 1500 об/мин в исполнении закрытом, с вентиляцией. Изоляция обмотки генератора имеет повышенную влагоустойчивость.

Пуск и останов агрегата производятся вручную. Режим работы автоматизирован. Число оборотов турбины поддерживается постоянным регулятором скорости одного из описанных типов. Напряжение на зажимах генератора регулируется угольным регулятором напряжения. Защита на случай разгона предусмотрена в виде автомата ослабления поля возбуждения и падающего щита. В целях облегчения работы регулирующих автоматов предусмотрен маховик диаметром 550 мм и толщиной обода 80 мм.

Агрегат предназначен только для одиночной работы и на параллельную работу не рассчитан.

Конструкция агрегата предусматривает установку его в открытой камере при наличии незначительных колебаний горизонтов верхнего бьефа (до 50 см над нормальным). Большие колебания горизонтов недопустимы, так как вода будет угрожать генератору. Для условий больших колебаний горизонтов служит агрегат с турбиной в напорной камере.

Этот агрегат устанавливается в 1940 г. на испытательном стенде «Микрогэс» на р. Оредеж⁴ для экспериментальной проверки отдельных узлов и агрегата в целом и, в дальнейшем, для эксплуатационных испытаний в течение 6—8 мес., с охватом летних, осенних и зимних условий эксплуатации. Комплектование агрегата будет произведено тремя типами регуляторов скорости и двумя-тремя типами регуляторов напряжения, которые все будут испытаны на стенде; наилучшие из них будут отобраны для применения в окончательном производственном образце.

К испытаниям будут привлечены все заинтересованные организации, предложившие свои опытные образцы отдельных узлов агрегата, — завод им. Сталина, «Электросила», ХЭМЗ, ВИМЭ и др.

На том же стенде будет испытан безрегуляторный низконапорный агрегат постоянного тока, снабженный генератором постоянного напряжения ХЭМЗ (рис. 9).

Этот агрегат по своей простоте и рациональности пока является наиболее передовым.

⁴ Приток р. Луги (Ленинградская обл.); постройка стенда и работа на нем производится по заданию Технического совета Наркомата электростанций СССР.

Генератор постоянного напряжения для колхозных ветроэлектростанций

К. И. ШЕНФЕР и А. А. ИВАНОВ

Энергетический институт Академии наук СССР

Возможность широкого применения простых по конструкции и сравнительно дешевых ветряков, автоматически регулируемых выведением крыльев из-под ветра, в пределах $\pm 25\%$ от средней скорости вращения, требует для нормального снабжения потребителей электроэнергией наличия электрических регуляторов или схем регулирования на постоянство напряжения.

Применительно к ветростанциям малой и средней мощности в Энергетическом институте АН СССР авторами проведено исследование ряда схем регулирования генераторов постоянного тока на постоянство напряжения. В качестве регулятора разработан новый тип нелинейного сопротивления. Эти вопросы и трактуются в настоящей работе.

Нелинейные сопротивления. За последнее время в технической литературе часто встречаются работы, посвященные вопросам нелинейных сопротивлений. Тирит, электронная лампа, auto-valve фирмы Вестингауз и другие подобные материалы и приборы, обладая показательной формой вольтамперной характеристики, находят себе применение в предохранительных устройствах от перенапряжений и в других областях техники.

В целях использования особенностей вольтамперной характеристики некоторых керамических материалов для регулирования машин на постоянство напряжения, нами было проведено исследование многих керамиков с различными примесями. Для нормального напряжения генераторов постоянного тока (120 ÷ 220 В) наиболее удачными оказались смеси крупнокристаллического бурого карборунда с графитом.

На рис. 1 построены вольтамперные характеристики восьми карборундо-графитовых проб, данные которых приведены в таблице:

№ проб	13	14	15	21	25	16 и 24	17
Содержание карборунда в %	90	85	83	82	80	75	70
Содержание графита в % .	10	15	17	18	20	25	30

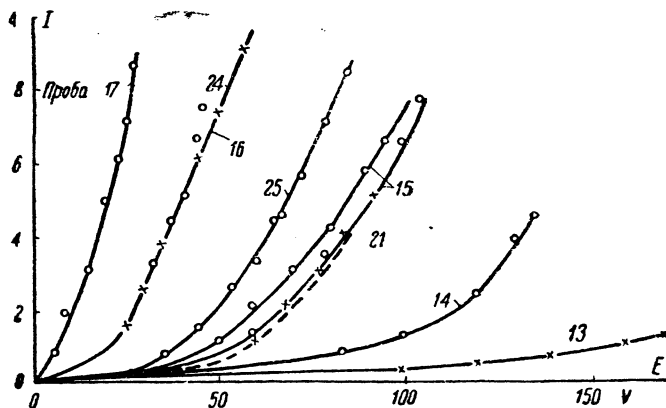


Рис. 1. Вольтамперные характеристики карборундо-графитовых проб

Как видно из таблицы и кривых рисунка, уменьшение процентного содержания графита в пробе увеличивает ее сопротивление и уменьшает крутизну вольтамперной характеристики.

Особенного внимания заслуживают пробы № 14, 21, 15, 25, 16 и 24. Их вольтамперные характеристики при небольших значениях напряжения близки к линейному закону, причем угол наклона характеристик к оси абсцисс очень мал. Это соответствует малым значениям тока. Если напряжение возрастает выше некоторой точки, ток, протекающий через нелинейное сопротивление, начинает резко возрастать и, в связи с этим кривые характеристик приобретают загиб вверх.

Закон протекания кривой вольтамперной характеристики карборундо-графитовых сопротивлений оказалось возможным выразить эмпирической формулой, предлагаемой нами:

$$i_N = e_N^3 + 3(e_N - 1)^2,$$

где i_N — ток нелинейного сопротивления, e_N — приложенное напряжение.

Технологический процесс производства нелинейных сопротивлений типа карборундо-графит чрезвычайно прост. Порошкообразные составные части сопротивления в соответствующих пропорциях (20% графита и 80% карборунда) тщательно перемешиваются, разводятся до состояния густой массы на глипталевом лаке и сжимаются специальным приспособлением в прочном металлическом цилиндре. Цилиндр помещается в электропечь, которая поддерживает температуру от 100 до 150° (дальнейшее повышение температуры может повлечь за собой выгорание графита из смеси и, следовательно, порчу сопротивления). После полной просушки в электропечи затвердевшая масса в виде диска выбивается из формовочного цилиндра. На торцевую поверхность ее набрызгивается тонкий слой металла, служащий контактом между нелинейным сопротивлением и подводящим проводником.

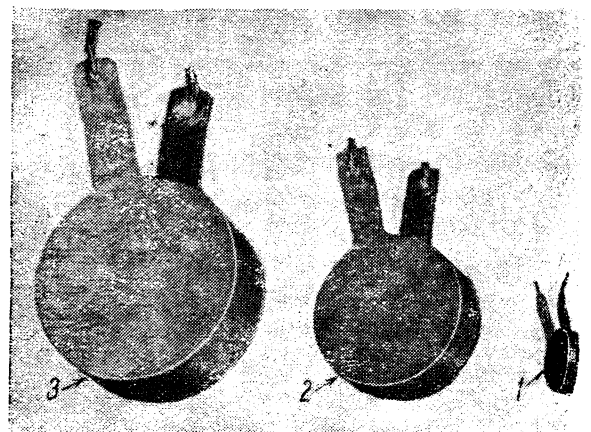


Рис. 2. Образцы карборундо-графитовых сопротивлений тунными электродами

I — на 5 В; II — на 20 В и III — на 130 В

На рис. 2 представлена фотография трех таких сопротивлений, рассчитанных на различные напряжения: 5, 20 и 130 В. Здесь тонкие латунные электроды с подводящими проводами заменяют набрызганный металл.

Для очень низковольтных машин (5—10 В) требующаяся толщина слоя сопротивления настолько

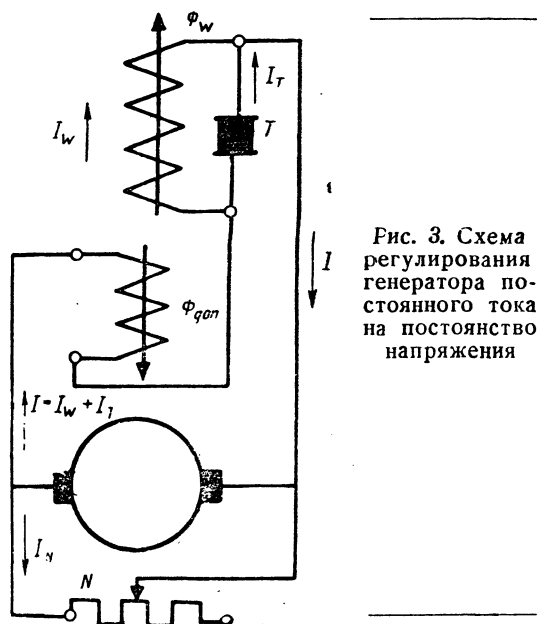


Рис. 3. Схема регулирования генератора постоянного тока на постоянство напряжения

мала, что оказывается достаточным нанести смесь карборунд-графит, разведенную на глипталевом масле, в виде краски на металлические (для придания прочности) электроды и в таком виде просушить их. Размеры дисков нелинейных сопротивлений определяются мощностью и напряжением генератора, режимом работы и условиями охлаждения. На рис. 2 диск наибольшего размера имеет диаметр 30 мм и высоту 20 мм. Он предназначен для регулирования на постоянство напряжения машины ПН-17,5 2,5 кВт, 115 В, 18,7 А.

Нелинейные сопротивления типа карборунд-графит прочны, не боятся ударов и сотрясений, не подвержены старению и безбоязненно могут выносить нагрев до $140 + 150^{\circ}\text{C}$. В том случае, если условия работы неблагоприятны в температурном отношении, сопротивления следует помещать в ванну с маслом и выполнять их с охлаждающими ребрами.

Исследование схемы регулирования генератора постоянного тока на постоянство напряжения. Нами было проведено исследование нескольких схем включения нелинейных сопротивлений в цепь генератора постоянного тока. Наибольший регулирующий эффект дала схема¹ рис. 3 с нелинейным сопротивлением и размагничивающей обмоткой. Размагничивающая обмотка соединяется последовательно с основной шунтовой обмоткой, на зажимы которой включено нелинейное сопротивление. Поток обеих обмоток (Φ_w и $\Phi_{доп}$) направлены в противоположные стороны.

Принцип действия схемы заключается в следующем.

При возрастании числа оборотов генератора, напряжение на его щетках будет расти. Но, начиная с некоторого критического напряжения на зажимах шунтовой обмотки, величина нелинейного сопротив-

ления начинает резко падать. В связи с этим ток I , протекающий через размагничивающую катушку, возрастет, также возрастет и ее поток $\Phi_{доп}$. Что же касается потока Φ_w основной шунтовой обмотки, то он при этом будет уменьшаться, так как величина нелинейного сопротивления T уменьшилась и частично зашунтировала шунтовую обмотку.

Таким образом в данной схеме регулирование осуществляется двояко: 1) усилением действия размагничивающей обмотки и 2) шунтированием (т. е. ослаблением) основной шунтовой обмотки.

Результатом совместного действия нелинейного сопротивления и размагничивающей обмотки является очень незначительное увеличение напряжения на клеммах генератора при широком изменении числа его оборотов.

На рис. 4 представлены рабочие кривые, полученные из опыта регулирования на постоянство напряжения машины ПН-85, 230 В, 31,3 А. При изменении числа оборотов генератора с $n_1 = 2170$ об/мин до $n_2 = 2900$ об/мин, напряжение на его клеммах возросло всего на 2 В, что составляет меньше двух процентов номинального напряжения.

Размагничивающая катушка. Размагничивающая катушка обтекается полным током возбуждения I : через нее протекает как ток основной шунтовой обмотки I_w , так и ток нелинейного сопротивления I_T :

$$I = I_w + I_T.$$

Поэтому сечение проводников этой обмотки желательно выбрать большим сечения витков шунтовой обмотки на $20 \div 30\%$. Размагничивающая катушка наматывается на сердечники шунтовой обмотки. Если генератор имеет компаундную обмотку, вместо нее может быть надета размагничивающая катушка. Число витков размагничивающей обмотки обычно оказывается достаточным, если оно составляет приблизительно $8 \div 10\%$ от числа витков шунтовой обмотки. В связи с этим вес меди возбуждения возрастает на $10 \div 12\%$.

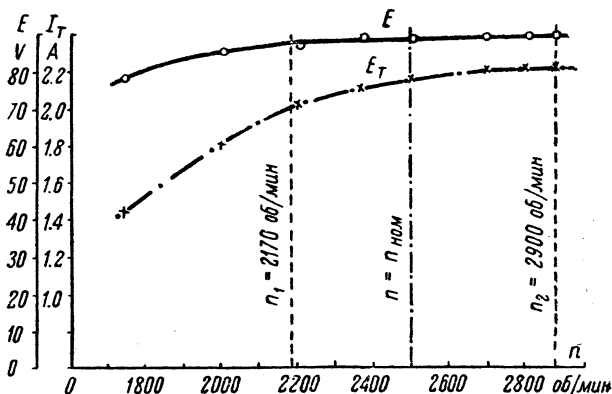


Рис. 4. Напряжение E на клеммах генератора и ток I_T в нелинейном сопротивлении в зависимости от числа оборотов при работе по схеме рис. 3

Коэффициент полезного действия генератора с нелинейным сопротивлением при номинальной нагрузке, естественно, несколько меньше, чем нормальной машины (приблизительно на 10%). Но следует иметь в виду, что нерегулируемый генератор требует некоторых дополнительных устройств² для поддержания напряжения в заданных границах.

² Такими устройствами могут являться буферные аккумуляторные батареи, вибрационные регуляторы и т. д.

Таким образом его к. п. д. должен учитывать также и потери в этих дополнительных устройствах.

Несложность схемы генератора с нелинейным сопротивлением и надежность ее действия позволяют авторам рассчитывать на возможность ее применения не только в колхозных ветроэлектростанциях, но и в других областях техники. Такими могут являться машины автотракторного электро-

оборудования, синхронные генераторы малой средней мощности и т. д.

Литература

1. К. В. McEachron, Thyrite a new Material for Light Arresters GER, № 2, 1930.
2. С. Н. Скоблина и Н. Н. Соколов, Тирит. „Электричество“ № 8, 1937.
3. T. Bownlee, The Calculation of Circuits containing Thy GER, № 4 и 5, 1934.

Компаундирование синхронных генераторов

Н. И. БОГДАНОВ

Московский электромеханический институт инженеров
железнодорожного транспорта им. Дзержинского

XVIII съезд ВКП(б) в резолюции по третьему пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР предложил развернуть широкое строительство малых электростанций и внедрять автоматизацию в основные производственные процессы электроэнергетического хозяйства.

Существенный недостаток электростанций с синхронными генераторами малой мощности — это

генератора с применением купроксных выпрямителей.

Характеристикой метода регулирования напряжения являются: надежность, дешевизна, безопасность эксплуатации, быстрота регулирования, рентабельность, способность ограничивать перегрузку синхронного генератора при длительном к. з., эксплуатационные удобства, дешевизна изготовления регулирующего устройства и т. д.

Основными элементами предлагаемой автором схемы являются сериес-трансформатор и купроксный выпрямитель. Сериес-трансформатор через купроксный выпрямитель питает компаундную обмотку возбуждения возбудителя.

В отличие от электромагнитных и механических регуляторов, которые обладают механической инерцией движущихся частей, предлагаемая схема имеет электрическую связь и почти мгновенно реагирует на любое изменение тока нагрузки синхронного генератора, автоматически поддерживая ее напряжение практически постоянным.

Увеличение перегрузочной способности маленького синхронного генератора при ударной нагрузке и автоматическое регулирование напряжения осуществляются по следующему принципу.

Первичная обмотка сериес-трансформатора (рис. 1) включена в главную цепь синхронного генератора 1. К вторичной обмотке трансформатора приключены купроксы 4, соединенные по схеме Гретца. При прохождении нагрузочного тока по первичной обмотке сериес-трансформатора 3 вторичная обмотка его будет питать через купрокс 4 выпрямленным током компаундную обмотку 6 возбудителя 5. Путем настройки можно достигнуть необходимой величины напряжения или даже перекомпаундирования. Основная обмотка возбуждения возбудителя обозначена цифрой 7.

Схема рис. 2 может быть с успехом использована для синхронных машин большей мощности. Введение добавочной машины-бустера 8, не требует переделок в синхронном генераторе.

Схемы были проверены на синхронном генераторе трехфазного тока завода Вольта СГ-812/8, 15 kVA, 230 V, 37,5 A, соединенный звездой, $\cos \varphi = 0,8$, 750 об/мин. Возбудитель ВП-12,5, на 1,1 kW, 55 V, 21 A (соединение прямой передачей).

Сериес-трансформатор был рассчитан на питание по первичной обмотке двойного номина-

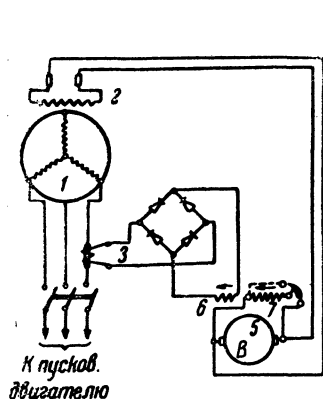


Рис. 1

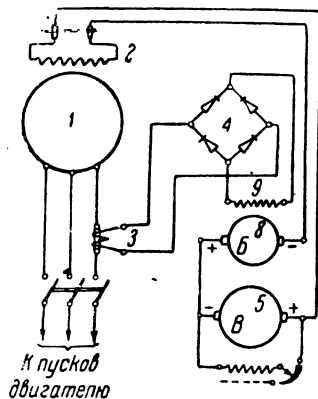


Рис. 2

трудность присоединения к их сети короткозамкнутых асинхронных двигателей, вызывающих при пуске резкое снижение напряжения на клеммах генератора.

Известные до сих пор методы автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов имеют существенные недостатки: схемы слишком сложны и дорого стоят и на станциях малой мощности не могут оправдать себя, в частности при специфических условиях эксплуатации судовых или ж.-д. передвижных электростанций — при сотрясениях и толчках судна или вагона.

Задача найти наиболее простой, рентабельный и легкоосуществимый способ повышения перегрузочной способности синхронного генератора с одновременным автоматическим регулированием напряжения в сети достаточно успешно разрешена¹ автором в 1938 г. в электромашиной лаборатории МЭМИИТ путем компаундирования синхронного

¹ При решении задачи о применении переменного тока на речных судах.

тока генератора, равного 70 А (полный вес трансформатора 6,5 kg). Купроксный выпрямитель типа Т В-1 — на 13,2 В и 2,4 А.

При опытах синхронный генератор нагружался синхронным двигателем типа МКА-17 на 7,36 kW. В статье представлены осциллограммы пуска дви-

Осциллограмма а (рис. 3) изображает пуск того же двигателя при компаундировании синхронного генератора по схеме рис. 1, осциллограмма б — при компаундировании по схеме рис. 2. Минимальное напряжение во втором случае составляло 0,6 U_n в течение 0,2 сек.

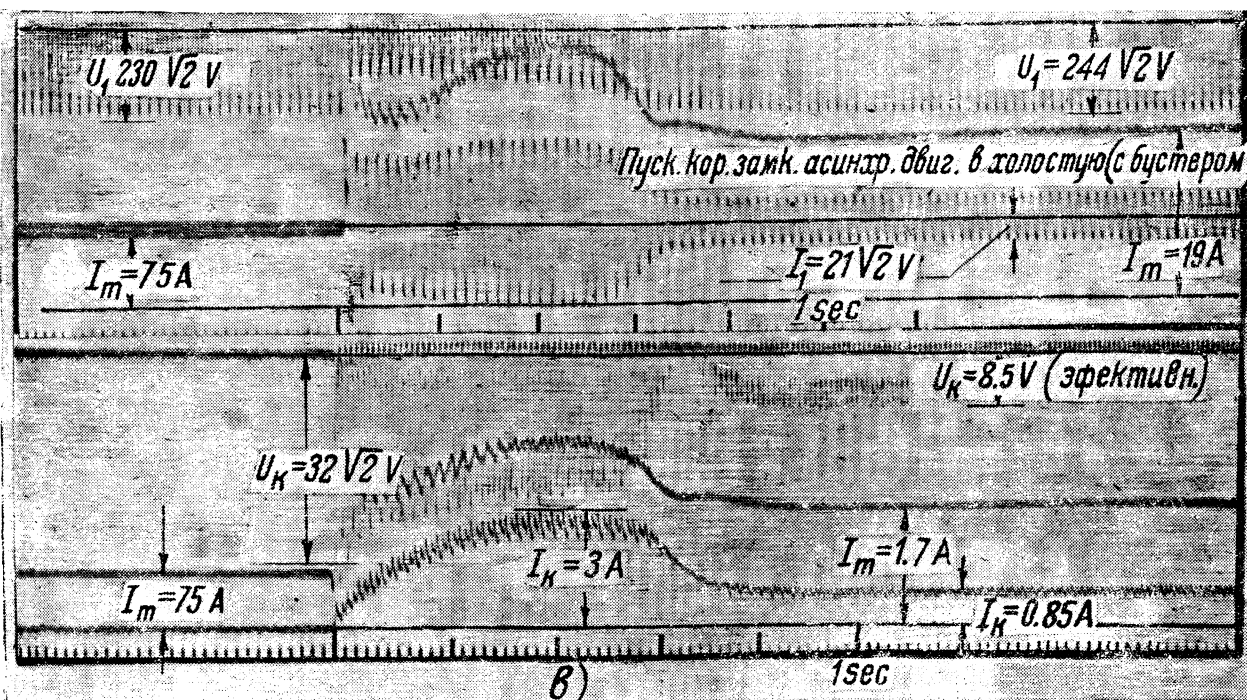
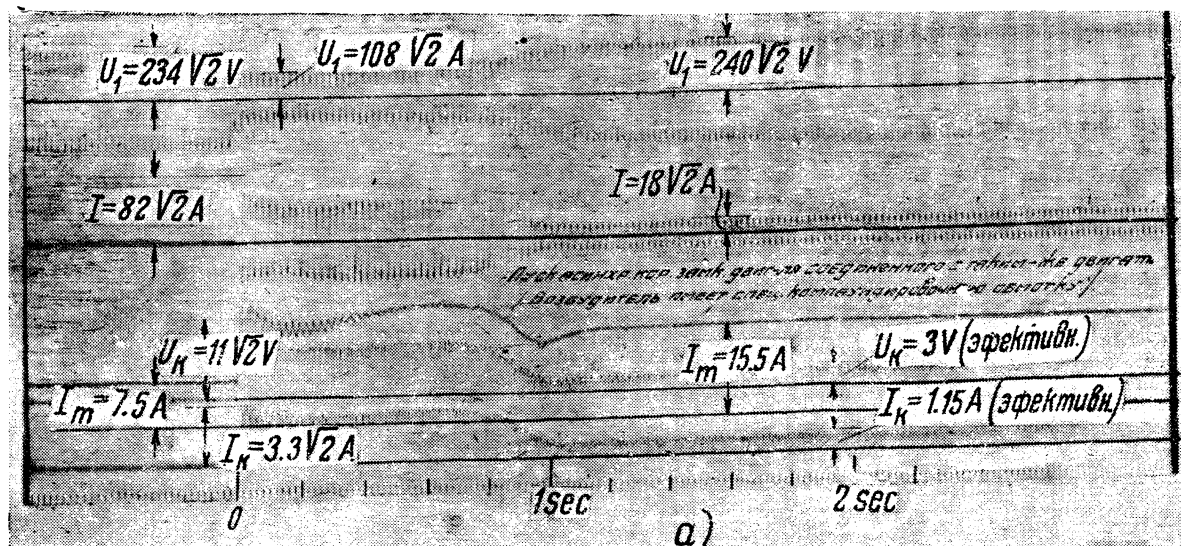


Рис. 3

а — осциллограмма пуска вхолостую к. з. асинхронного двигателя при компаундировании генератора по схеме рис. 1; б — то же при компаундировании по схеме рис. 2; U , I — напряжение и ток генератора; U_K , I_K — напряжение и ток купроксных выпрямителей; I_m — ток возбуждения генератора

от ненагруженного синхронного генератора, является наиболее тяжелым условием для со-

стояния устойчивости напряжения генератора. При пуске двигателя вхолостую короткозамкнутого синхронного генератора без компаундирования время разбега достигло 10,33 sec. Напряжение генератора во время пуска составляло 21% (50 В), после пуска оно установилось в 162 В, вместо измеренных до пуска двигателя.

Из осциллограмм видно, что во время пуска двигателя напряжение снижалось в течение 0,06 и 0,3 sec, а полная длительность разбега двигателя продолжалась от 0,7 до 1,1 sec.

От синхронного генератора без компаундирования не удалось осуществить пуск асинхронного двигателя, нагруженного до 30%.

При компаундировании синхронного генератора тот же двигатель с нагрузкой в 7 kW (около

100%) имел длительность пуска 2,3 сек, а наименьшее напряжение длилось от 0,08 до 0,3 сек и составляло $0,7 \div 0,9 U_n$.

Из сопоставления результатов, полученных при испытаниях синхронного генератора при и без компаундирования, мы видим, что в первом случае при пуске асинхронного короткозамкнутого двигателя наименьшее напряжение составляет $0,55 U_n$, а во втором случае — $0,21 U_n$.

Длительность пониженного напряжения в первом случае меньше в 33 раза, чем во втором, а длительность разбега меньше в 10 раз.

При анализе осциллограмм установлено, что наряду с автоматическим регулированием напряжения синхронного генератора при пуске от его сети короткозамкнутых двигателей одновременно возрастает ударная перегрузочная способность генератора, которая в дальнейшем ограничивается насыщением трансформатора, железноводородным сопротивлением или биметаллическим предохранителем в случаях длительного к. з.

Большая перегрузочная способность синхронного генератора благодаря применению купроксных выпрямителей позволяет осуществить пуск от его сети асинхронного двигателя мощностью, близкой по величине к мощности самого синхронного генератора.

Кроме того, нами достигнуто вполне удовлетворительное регулирование напряжения, так что предлагаемая схема может быть использована только для увеличения перегрузочной способности синхронного генератора, но и для автоматического регулирования напряжения.

В опытной схеме компаундирования синхронного генератора (15 kVA) дополнительный расход энергии не превышает 0,4% от номинальной мощности, что ясно иллюстрирует экономичность метода.

Купроксные выпрямители отличаются высокой механической прочностью, нечувствительностью к толчкам и ударам и постоянной тряске.

Это свойство купроксных выпрямителей, а также простота конструктивного оформления, дешевизна и эксплуатационные достоинства предлагаемой схемы позволяют думать, что она найдет широкое применение в специфических условиях эксплуатации малых электростанций ж.-д. и водного транспорта в сельском хозяйстве и т. д.

Литература

1. Журнал „Электричество“ № 3, 1922.
2. Журнал „Электричество“ № 8, 1939.
3. Журнал „Электричество“ № 1, 1940.
4. M. Seidner, ETZ, № 47, 1909.
5. E. Arnold, Bd 4. Синхронные генераторы, т. 4.

Компаундированный асинхронный генератор

А. А. ИВАНОВ

Одесский индустриальный институт

Известно, что если параллельно к статорным обмоткам бесколлекторной асинхронной машины присоединить симметричную трехфазную емкость C и посторонним двигателем привести короткозамкнутый ротор во вращение, то при некотором числе оборотов выше критического:

$$n_0 = \frac{8,55 \cdot 10^4 \sqrt{\delta}}{p w_1 \sqrt{k_1 C S_l}}, \quad (1)$$

где δ — теоретический воздушный зазор машин (см), p — число пар полюсов машины, w_1 — число витков, приходящихся на каждую фазу статора, k_1 — коэффициент обмотки статора, C — величина подключенной емкости (F), S_l — теоретическое сечение воздушного зазора (см), благодаря наличию остаточного магнитного потока ротора Φ_0 происходит самовозбуждение машины.

Длительность этого процесса невелика и, вообще говоря, зависит от мощности машины, числа оборотов ротора и величины подключаемой емкости C .

Поставленные опыты с трехфазной четырехполюсной асинхронной машинной мощностью 0,75 kW на валу при напряжении 220 V показали, что при вращении ротора с числом

оборотов $n_2 = 1500$ в минуту и приключении при этом возбуждающих конденсаторов время, необходимое для самовозбуждения машины, значительно уменьшалось при увеличении значения величины возбуждающей емкости C .

Величина установившегося напряжения генератора холостом ходе, а также частота генерируемых колебаний могут быть определены из его частотных характеристик (рис. 1) представляющих семейство кривых $U_{\phi 0} = F(n_2)$ при $C =$ которые могут быть получены теоретически или экспериментальным путем для любой асинхронной машины.

К такому самовозбужденному асинхронному генератору всегда при отрицательном скольжении

$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%$, представляется возможным присоединить некоторую активную или реактивную нагрузку, необходимая для возбуждения нормального напряжения может быть определена из соотношения:

$$C = \frac{P_a (\lg \varphi_T + \lg \varphi)}{6 \cdot \pi f U_{\phi 0}^2},$$

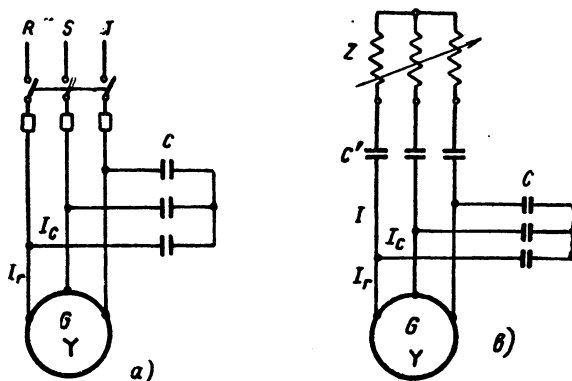


Рис. 1

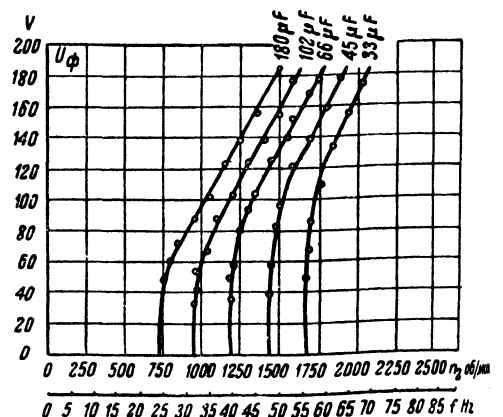


Рис. 2

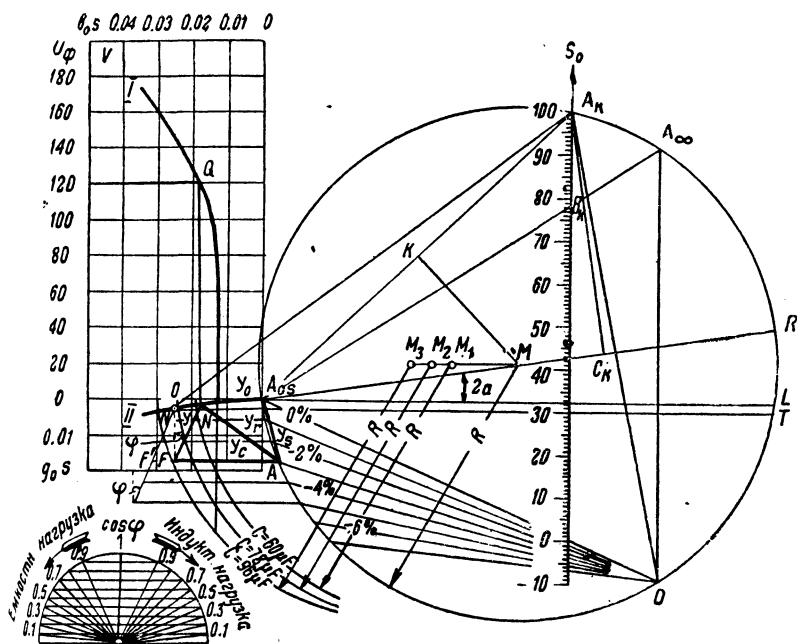


Рис. 3

де P_a — активная мощность (W), отдаваемая асинхронным генератором в сеть,
 γ и φ — углы сдвига фаз между напряжением и токами генератора и нагрузки соответственно,
 f — частота генерируемых колебаний,
 $U_{\phi c}$ — напряжение (V), приложенное к обкладкам конденсаторов.

Теоретическое исследование режимов работы такого самовозбужденного асинхронного генератора, при изменении нагрузки и сохранении постоянства частоты, достигаемой соответствующей регулировкой числа оборотов первичного двигателя, может быть произведено с помощью точной круговой диаграммы, учитывающей непостоянство параметров машины (рис. 3).

Кривые I и II представляют зависимости $U_{\phi} = F(b_0)$ и $g_0 = F(b_0)$, где через b_0 и g_0 обозначены реактивная и активная составляющие проводимости намагничивающего контура асинхронного генератора.

На основании приведенной диаграммы представляется возможным построить зависимость между фазным напряжением генератора и силой тока нагрузки при различных значениях $\cos \varphi$ и постоянной величине возбуждающей емкости $C = 78 \mu F$ (рис. 4).

Для удобства дальнейшего анализа указанные зависимости введены в относительных единицах, причем напряжение генератора при холостом ходе и ток приемников, отвечающий максимальной мощности, отдаваемой генератором при активной нагрузке и данной величине возбуждающей емкости $C = 78 \mu F$, приняты равными 100%.

Исследование приведенного семейства кривых $u = F(i)$ показывает, что с увеличением активной и, в особенности, индуктивной нагрузки происходит значительное падение напряжения на зажимах генератора, что заставляет заняться рассмотрением возможности обеспечения стабильности его при бавании тока приемников.

Из способов такой автоматической стабилизации питания потребителей не непосредственно от генератора, а через последовательно включенные конденсаторы. Емкость C' можно определить при помощи геометрических мест конца вектора напряжения на зажимах генератора u_2 при постоянной величине силы тока приемников i , при изменяющемся коэффициенте мощности нагрузки $\cos \varphi$. Эти зависимости, построенные по семейству $u = F(i)$, даны на рис. 5.

Предполагая, что асинхронный генератор, компаундированный емкостью C' , должен снабжать энергией индуктивных потребителей с $\cos \varphi = 0,9$ при колебаниях тока от $i = 0$ до 100%, и желая при токе 100% иметь величину напряжения, равную той, которая была при холостом ходе, при вектору стабилизированного напряжения на зажимах приемников Oa_0 вектор падения напряжения на компаундирующих конденсаторах $a_0 a_4$, отстающий по фазе от вектора на угол $\frac{\pi}{2}$; принимая во внимание, что конец его дол-

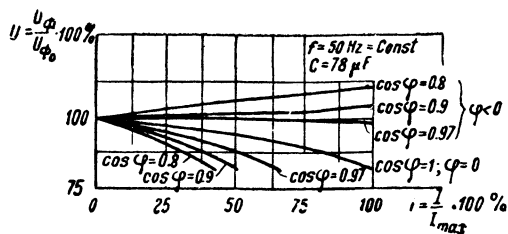


Рис. 4

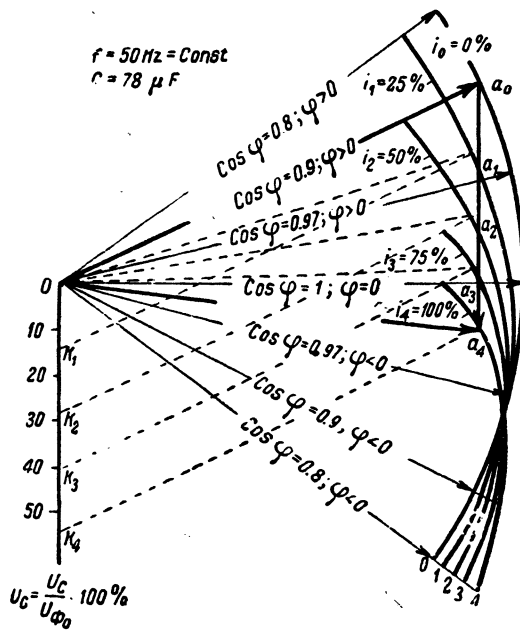


Рис. 5

жен лежать на геометрическом месте конца вектора напряжения на зажимах генератора Oa_4 при $i = 100\%$, находим вектор Oa_4 , как геометрическую сумму векторов Oa_0 и $a_0 a_4$.

Зная падение напряжения $a_0 a_4$ на компаундирующей емкости и соответствующий этому режиму ток $i = 100\%$, нетрудно, учитывая масштабы, определить емкость, необходимую для компаундирования генератора:

$$C' = \frac{I}{2\pi f U_c} \quad (3)$$

Для исследуемой машины при указанном режиме работы C' оказалась равной $103 \mu F$.

Пользуясь вышеприведенными геометрическими местами (рис. 5), можно построить также внешние характеристики компаундированного асинхронного генератора.

Для этого достаточно по шкале падений напряжений на компаундирующей емкости C' для ряда значений тока нагрузки отложить соответствующие падения напряжения и из полученных точек k_1, k_2, k_3 и k_4 провести лучи параллельно вектору Oa_0 до пересечения с соответствующими геометрическими местами 0, 1, 2, 3 и 4 в точках c_1, c_2, c_3 и a_4 , которые определяют концы вектора напряжения генератора и нагрузки.

Рис. 6 интерпретирует полученные, таким образом, зависимости u_2 и u_c от i при $\cos \varphi = 0,9$.

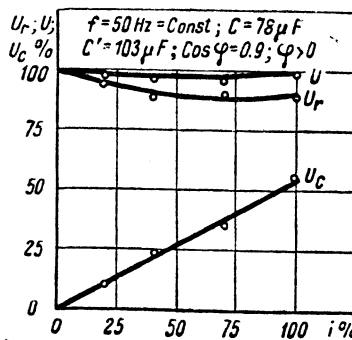


Рис. 6

Анализ этих кривых показывает, что компаундирование асинхронного генератора, осуществляемое при помощи статических серийных конденсаторов, является вполне надежным стабилизирующим средством даже при резких колебаниях нагрузки в особенности при низком коэффициенте мощности.

Экспериментальные исследования, проведенные с компаундированным асинхронным генератором, полностью подтвердили приведенные теоретические соображения.

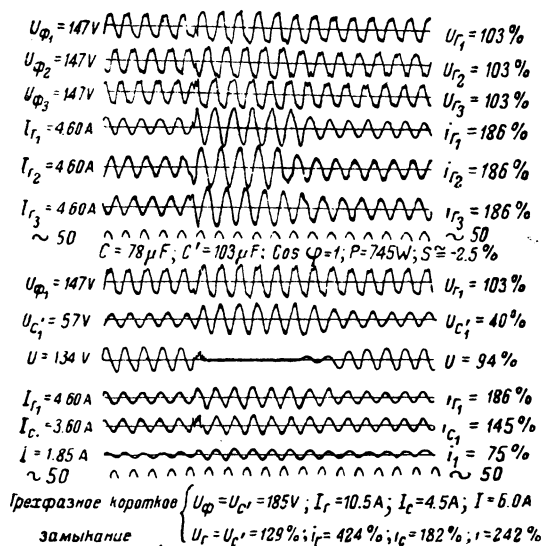


Рис. 7

При описываемом способе стабилизации напряжения обычно требуются компаундирующие конденсаторы значительной емкости, удорожающие установку, а также увеличивающие ее габариты и вес. Для устранения этих недостатков рекомендуется производить включение емкостей через повысительные серийные трансформаторы, которые для обеспечения устойчивой стабилизации напряжения должны быть подобраны таким образом, чтобы при всевозможных эксплуатационных режимах они работали с малым насыщением железа (в, рис. 1).

В этом случае емкость, необходимую для компаундирования, можно уменьшить в отношении $\left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2$, где w_1 и w_2 — числа витков обмоток трансформатора.

Переходя к рассмотрению поведения исследуемого генератора при трехфазном к. з., нужно отметить, что компаундирование совершенно изменяет его свойства и при этом процессе.

Обычный асинхронный генератор (рис. 1, а) при внезапном трехфазном к. з., сопровождающемся ударными быстро затухающими токами, не представляющими опасности для шины, быстро теряет свое напряжение и затем по устрани к. з. может не возбудиться даже при отключенной нагрузке из-за потери остаточного магнетизма. При к. з. к компаундированного асинхронного генератора происходит повышение напряжения на зажимах генератора и компаундирующих конденсаторов, а также некоторое искажение синусоидальной формы за счет высокого насыщения магнитной системы машины и, кроме того, увеличение тока генератора, переходящего при этом на режим холостого хода при увеличенном значении возбуждающей емкости

$$C_{к. з.} = C + C'.$$

В этом случае величину установившегося напряжения при трехфазном к. з. можно определить либо по частотным характеристикам машины (рис. 2) или при помощи магнитной характеристики генератора: $e = F(i_m)$.

По этой характеристике можно, кроме того, найти и установившуюся силу тока к. з., определяя ее как точку пересечения кривой $e = F(i)$ с вольтамперной характеристикой емкости $C_{к. з.} = 181 \mu F$.

При устранении к. з. компаундированный асинхронный генератор быстро переходит на нормальный режим работы (осциллограмма рис. 7).

Приведенное исследование показывает, что компаундированный асинхронный генератор, являющийся недорогой, простой и механически прочной машиной, свободной при колебаниях нагрузки от качаний, свойственных синхронным машинам, за счет изменения величины скольжения, не требующей за собой почти никакого ухода, легко самовозбуждается холостом ходу и автоматически поддерживает почти постоянное напряжение на зажимах потребителя при всевозможных режимах работы. Благодаря перечисленным его свойствам он может быть рекомендован для установки на больших автоматических электростанциях, питающих этих потребителей электрической энергии.

Литература

1. E. D. Basset and F. M. Potter. Capacitive Excitation for Induction Generators. El. Eng., № 5, 1935.
2. Р. Рихтер. Электрические машины, том IV. Издательство машиностроительной литературы, М., 1939.
3. А. А. Иванов. О самовозбуждении бесколлекторных асинхронных машин. Труды Одесского индустриального института, выпуск 2 (5), 1940.
4. С. В. Крауц, Б. Д. Садовский и Т. Г. Сорокин. Стабилизация напряжения в синхронных машинах с постоянными магнитами. Вестник электропромышленности, № 2, 1940.
5. А. А. Иванов. Исследование режимов работы асинхронного генератора на индивидуальную сеть. Труды Одесского индустриального института, вып. 3 (6), 1940.

О главе шестнадцатой „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“

Л. М. ШНИЦЕР

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

Глава шестнадцатая «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей» посвящена силовым трансформаторам.

Предельно сжатая на шести страницах, эта глава в кратких, но четко изложенных 33 параграфах охватывает те основные моменты эксплуатации, которые обслуживающий персонал должен знать на память.

С точки зрения существующих норм и стандартов 33 параграфов весьма тщательно отредактированы. При этом, принимая во внимание, что инженер-конструктор трансформатора в целях соблюдения одной определенной нормы бывает вынужден недоиспользовать сопряженную с первой другую норму, редакционная комиссия правильно читает, что в таких случаях эксплуатационник обязан следовать за конструктором (§ 535).

§ 535. «Для каждого трансформатора должна быть установлена максимально допустимая температура верхних слоев масла на основе заводских данных или результатов испытания. Однако эта температура не должна превышать $+95^{\circ}\text{C}$.

Для предупреждения ускоренного старения масла трансформатора в нормальных условиях температуру верхних слоев масла следует держать не более -85°C ».

В «Правилах» отражен также не нашедший еще отражения в стандартах, но уже установившийся на практике, отличный от устаревшего, взгляд на допустимые режимы работы трансформатора (§ 534, 536).

§ 534. «Величина наибольшей длительно допустимой нагрузки трансформатора определяется в зависимости от места установки (климатического пояса) заводом-изготовителем или специальными испытаниями».

§ 536. «Силовые трансформаторы допускают нагрузку сверх номинальной, величина и продолжительность которой зависит от режима работы и места установки трансформаторов и определяется в каждом отдельном случае в соответствии с «Инструкцией по перегрузке трансформаторов».

Однако по одним этим правилам невозможно, конечно, вести эксплуатацию. Недостаточно одних принципиальных моментов, как бы четко и ясно они были изложены. Необходимо знать в деталях, как на практике осуществлять данные принципиальные указания путем конкретных мероприятий. «Правила» эти предполагают, следовательно, наличие соответствующих инструкций, которые должны быть срочно пересмотрены и утверждены. «Правила» ссылаются на типовую инструкцию «Эксплуатация силовых трансформаторов»¹. Но существую-

щая инструкция, к сожалению, в противоположность «Правилам», оставляет желать лучшего в отношении четкости и ясности изложения, тщательности редакции и просто стилистической обработки.

Позволяем себе кратко остановиться на нескольких пунктах упомянутой инструкции.

Начнем с того, что самое введение к инструкции с первой же строки предупреждает читателя, что «в процессе печатания ряд положений инструкции подвергся пересмотру и изменениям» и что «поэтому при пользовании инструкцией необходимо, в изменение текста, руководствоваться»... рядом приводимых в введении указаний.

Указания же эти не исчерпывают всех подвергшихся пересмотру положений, во-первых; во-вторых, некоторые из этих указаний из-за небрежной редакции не разъясняют положения, а только запутывают его.

Так, в изменение п. 96 стр. 44, где сказано, что для трансформаторов напряжением 35 кВ допускается снижение пробивного напряжения масла до 22 кВ, введение предлагает следующую редакцию: «Допускается снижение пробивного напряжения масла до следующих величин:

Для трансформаторов 35 кВ и выше до 27 кВ	
•	• 6-35 кВ до 20 кВ
•	• ниже 6 кВ до 15 кВ

Итак, для трансформаторов напряжением 35 кВ допускается согласно разъяснению пробивное напряжение масла не то 20, не то 27 кВ вместо указанных в тексте 22 кВ.

На стр. 19 в п. 39 читаем:

«Включение на параллельную работу трансформаторов с разницей в коэффициенте трансформации от 2 до 5% допускается, как временная мера при условии, что уравнильный ток не превышает 20% от номинального тока меньшего из трансформаторов».

Отсюда непосредственно следует, что при разнице в коэффициенте трансформации, меньшей 20%, параллельное включение трансформаторов допустимо и на постоянную работу.

Между тем нетрудно убедиться, что, например, при разнице в коэффициенте трансформации $\Delta E = 1,9\%$, напряжения короткого замыкания $e_{K1} = e_{K2} = 5\%$ и отношении мощности большего трансформатора к мощности меньшего трансформатора $\beta = 3$, имеем для уравнильного тока $\Delta I_m = 28,5\% > 20\%$.

С другой стороны, весьма важно обратить внимание на то, какой из двух трансформаторов (большой или меньший по мощности) имеет при данном первичном напряжении большее вторичное напряжение; если большее вторичное напряжение имеет больший трансформатор, то уравнильный ток даже в 30% от номинального тока меньшего транс-

Инструкция ЭО-12, «Эксплуатация силовых трансформаторов». Составлена электроцехом „Оргрэн“. Госэнергоиз-1940.

форматора может оказаться более допустимым, чем уравнильный ток в 20% в том случае, когда большее вторичное напряжение имеет меньший трансформатор.

На стр. 19, 30 и 31 инструкции говорится о допустимом повышении напряжения на данном ответвлении первичной обмотки на 5% и не подчеркивается, что в эти 5% должны быть включены и неизбежные колебания напряжения сети.

На стр. 37 читаем:

«Вентиляторы должны пускаться тогда, когда температура масла достигла 60° С, если трансформатор несет нагрузку не выше номинальной.»

Если нагрузка выше номинальной, то работа дутья обязательна, независимо от температуры масла.»

Остановка вентиляторов может производиться при снижении температуры масла до 55° С.»

Ценность этих трех «сентенций», приведенных вне связи с графиком нагрузки, сомнительна.

Если график нагрузки ровный и близок к номинальной, то вентилятор не должен останавливаться даже при температуре масла ниже 55°.

Если график нагрузки (как в большинстве случаев бывает) колеблющийся, то в зависимости от характера графика включение вентиляции может оказываться необязательным даже при перегрузках.

Подобных мест в инструкции, к сожалению, немало.

Между тем для инструкции, не связанной, как «Правила», условием обязательной сжатости формулировок, требования четкости изложения и тщательности редакции гораздо легче осуществимы, чем для «Правил».

Отсюда вывод о необходимости скорейшей разработки соответствующей «Правилам» новой более четкой инструкции в области эксплуатации трансформаторов.

Новые „Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами“

В. А. СОЛОВЬЕВ и Д. И. БОНДАРЕВСКИЙ

Москва

С 1 апреля 1940 г. вступили в силу в системе Наркомхоза РСФСР новые «Правила защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами электрических железных дорог и трамваев».

В ближайшее время намечается ввести в действие эти «Правила» во всех заинтересованных ведомствах.

Новые «Правила» изданы вместо раздела «Г» «Правил ограждения телеграфных, телефонных и сигнализационных линий от вредного действия установок сильного тока», выпущенных в 1932 г., и отражают большой материал, собранный нашими научно-исследовательскими организациями (НИИ связи, Академией коммунального хозяйства, Азербайджанским индустриальным институтом им. Азизбекова), трамвайными предприятиями и инженерами, занимающимися эксплуатацией кабельной сети Мосэнерго и Наркомата связи СССР.

При составлении новых «Правил» были учтены также публикации С. С. I. (Консультативного комитета международных линий связи) и некоторые материалы, опубликованные в заграничной литературе (работы Жибра, Шлумберже и др.).

О необходимости пересмотра «Правил» 1932 г. неоднократно высказывались на отраслевых конференциях ВНИТО городского электротранспорта, на V Всесоюзном трамвайном съезде и на страницах журнала «Электричество»¹.

Основным недостатком «Правил» 1932 г. было то, что они не учитывали особенностей электрических железных дорог с автоблокировкой, не отражали новейших тенденций в области энергоснабже-

ния трамваев, а также не охватывали практически проверенных усовершенствований в области проводства и прокладки кабелей.

Новые «Правила», в отличие от старых, дают точное определение специальных терминов и одельно рассматривают известные в настоящее время источники блуждающих токов: трамвай, электрические железные дороги, электрические сети постоянного тока с заземленным нулевым проводом.

Кроме того, новые «Правила» содержат следующие общие разделы:

1) Взаимное расположение рельсов трамвая и электрической железной дороги и подземных металлических сооружений.

2) Меры, применяемые при строительстве и эксплуатации подземных металлических сооружений.

3) Исследование степени коррозионной опасности подземных сооружений.

4) Меры защиты существующих и вновь устроенных подземных металлических сооружений от обнаружения на них опасных зон.

5) Об организации бригад и междуведомственных комиссий для производства необходимых измерений и принятия совместных мер борьбы с блуждающими токами, а также разрешения спорных вопросов защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии блуждающими токами.

Первый и наиболее крупный раздел посвящен блуждающим токам трамвая (§ 4—38).

В части норм падения напряжения новые «Правила» устанавливают (по образцу международных норм) наибольшую величину среднесуточного градиента потенциала в рельсах в 0,4 на 100 м пути. Так как наибольший градиент потенциала имеет место у отсасывающих пунктов, это требование в основном определяет располо-

¹ В. Н. Коновалов, Нужны новые нормы по защите подземных сооружений от блуждающих токов, «Электричество» № 3, 1940.

изолирующих стыков или муфт — простых или шунтированных сопротивлениями. Применение таких муфт на симметрированных кабелях дальней связи не рекомендуется вследствие увеличения при этом шумовых помех от тяговых токов.

Бронированные кабели сильного тока и высокого напряжения в тех случаях, когда к ним нельзя применить методов электрозащиты, следует защищать в анодных зонах покрытием из стальных полумиллиметровых коробок, соединенных металлически между собой и со стальной броней кабеля; свинцовая оболочка также должна быть соединена металлически во всех муфтах с броней кабеля.

Методы электрозащиты рекомендуются также для всех видов стальных трубопроводов (водопровод, газ, теплофикация, нефте- и керосинопроводы).

Опасные зоны небольшого протяжения или незначительного потенциала могут быть компенсированы с помощью цинковых или железных протекторов или с помощью небольшой батареи элементов или аккумуляторов, положительный полюс которых заземляется, а отрицательный подключается к защищаемому металлическому сооружению. Новые «Правила» допускают также применение купроксных выпрямителей, так включенных между искусственным заземлением и защищаемым сооружением, что ток может уходить из защищаемого сооружения через выпрямитель в землю, но не может возвращаться обратно.

Последний раздел новых «Правил» устанавливает порядок организации бригад и междуведомственных комиссий для производства необходимых измерений и принятия совместных мер борьбы с блуждающими токами, а также разрешения спорных вопросов на почве применения новых «Правил».

Впервые такие смешанные комиссии были организованы при горсоветах в феврале 1938 г. совместным приказом Наркомсвязи и Наркомхоза РСФСР, а затем и других союзных республик.

Работа этих комиссий и бригад по защите под-

земных металлических сооружений от коррозии оказалась весьма полезной, и новые «Правила» защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии требуют организации: 1) постоянных функционирующих бригад для производства предусмотренных «Правилами» измерений и обследований тяговых и подземных металлических сетей, 2) постоянно действующих комиссий при горсоветах из представителей заинтересованных ведомств, которые:

а) согласовывают проекты вновь сооружаемых или реконструируемых трамвайных рельсовых и отсасывающих сетей и проекты сетей подземных сооружений в отношении защиты подземных металлических трубопроводов и кабелей от коррозии;

б) участвуют в приемке вновь выстроенных или реконструированных трамвайных путей и подземных металлических сооружений;

в) разрешают разногласия между заинтересованными организациями на почве применения новых «Правил».

Проект новых «Правил» разработан бригадой специалистов под председательством старейшего специалиста трамвайного дела в Союзе Петра Кирилловича Пешекерова (ВНИТО городского электротранспорта), профессоров П. А. Азбукина (НКСвязи) и Н. О. Рогинского (НКПС), инж-ров А. Н. Матвеева (НИИЖТ), В. П. Нечаева (Мос. трамвай), Ершова (НИС НКСвязи), Майкопар (Наркомхоз РСФСР) и В. А. Соловьева (АКХ).

Выход новых правил имеет важное значение для развития защиты подземных сооружений от коррозии, но он не должен ослабить изобретательской и исследовательской инициативы по изысканию более эффективных и дешевых мероприятий защиты против коррозии и особенно на тех участках трамвайной сети, где имеет место рекуперация энергии, которая получит в перспективе самое широкое применение на наших трамваях.

ИЗУЧЕНИЕ МОЛНИИ И ГРОЗОЗАЩИТА

Исследование импульсных искровых разрядов

В. С. КОМЕЛЬКОВ

Энергетический институт Академии наук СССР

Искровой разряд исследовался¹ в промежутке игла — игла при отрицательной полярности падающей волны (1/300 мкс). В разрядную цепь, помимо искрового промежутка, включалось тормозящее сопротивление R_t и измерительное $R_{из}$, необходимое для осциллографирования токов искрового разряда.

Источником напряжения служил импульсный генераторный контур 750 кВ с общей емкостью в разряде $2 \cdot 10^{-3}$ мФ.

Одновременно с осциллографированием токов разрядной цепи производилась оптическая съемка процесса с помощью камеры типа Бойса (1910 об/мин) с кварцевой оптикой светосилой 1:4. Напряжение волны колебалось в пределах 350—

700 кВ. Постоянные разрядной цепи колебались в следующих пределах:

$$R_t = 8350 \div 6,6 \cdot 10^6 \Omega; R_{из} = 18 \div 400 \Omega.$$

Средняя скорость лидера определялась отношением пути, пройденного лидером, к интервалу времени лидер — главный канал. Путь лидера измерялся на бойсограмме и помножался на коэффициент 1,15, для учета пространственных извили траектории. Интервал времени лидер — главный канал устанавливался из осциллограммы, что не представляло трудностей, так как моменты образования лидера и перехода его в главный канал характеризуются отчетливо видными резкими толчками тока. Совпадение времени лидера на данным осциллограммы и бойсограммы оказалось удовлетворительным (отклонение $5 \div 12\%$).

¹ Исследования проводились в период апрель — май, 1939.

тельного лидера и продвижение разрядной волны (обнажающей в столбе положительные ионы) по столбу отрицательного лидера. Судя по скорости и свечению, сопровождающему этот процесс, можно ожидать значительных градиентов и, следовательно, интенсивной ионизации на фронте волны.

Общее усиление свечения вызывается также процессами рекомбинации.

При встрече лидеров разряд их головок, характеризующихся большей ионизацией и плотностью зарядов, сопровождается наиболее резким взбросом тока (максимальная крутизна).

Сочетание амплитуды и крутизны в часто встречающихся разрядах, помимо влияния сопротивления земли, зависит от распределения зарядов в канале лидера и степени его ионизации по длине, т. е. от «истории» лидера.

Наибольшая скорость движения главного канала молнии, известная из литературы, составляет 10^9 см/сек; обычная высота грозовых туч 1—2 км.

Таким образом, длина фронта тока, если предполагать, что максимум наступит при достижении облака главным разрядом, составит 100—300 мс. Однако все известные длины фронтов тока не превышают 60 мс, следовательно, максимум тока молнии наступает еще до того, как главный канал достигает тучи.

В первом приближении разряд главного канала можно рассчитать по уравнению длинной линии с постоянной удельной индуктивностью, удельной емкостью, переменной по длине канала, и сопротивлением, меняющимся как по длине канала, так и во времени. Такого рода решение будет дано в ближайшее время.

Что касается составляющих свечения столба молнии, связанных с разветвлениями канала и облаком, то их появлению будут соответствовать дополнительные взбросы (пики) тока, которые могут попасть на фронт волны или ее хвост в зависимости от скорости главного канала и расположения разветвлений канала как внутри тучи, так и вне ее.

Защитное действие разрядников с зависимым сопротивлением при близком прямом ударе молнии

Е. В. КАЛИНИН

Ленинградский завод «Электроаппарат»

При близком к разряднику прямом ударе молнии в линию, между местом удара и разрядником устанавливаются последовательные отражения волн, в результате воздействия которых напряжение на разряднике может оказаться значительно выше значения, получаемого, если при расчете не учитывать последовательных отражений. Поэтому выбор разрядников совершенно необходимо делать с учетом последовательных отражений между местом удара молнии и разрядником. В виду того что сопротивление разрядника с зависимым сопротивлением зависит от величины напряжения, коэффициенты отражения и преломления у разрядника переменны. Поэтому при расчетах защитного действия разрядников с зависимым сопротивлением методом суперпозиции (сеткой Бюлея) можно пользоваться только несколько его видоизменив, находя для каждого момента времени суммарную набегающую волну и для этой волны — результирующее напряжение на разряднике.

Целью настоящей работы является анализ влияния на напряжение на подстанции, защищенной разрядником с зависимым сопротивлением, величины сопротивления заземления и числа трубчатых разрядников (или координирующих промежутков), срезающих напряжение в линии, анализ влияния длины подхода и силы тока молнии.

Расчет в основном проделал для 35-kV тупикового разрядника завод «Электроаппарат» РТНМ, $\frac{35}{3,5}$, имеющего падение напряжения IR при 1000 А — 140 kV и коэффициент $\alpha = 0,27$ в уравнении $U = CT^\alpha$.

Метод расчета. Расчет произведен для наиболее тяжелых условий работы разрядника — тупикового

режима работы подстанций, линии, не имеющей защиты от прямых ударов по длине, и подходе, защищенном от прямого удара молнии молниеотводами, без связи заземлений трубчатых разрядников на подходе с заземлением подстанции.

Как известно, при ударе молнии в линию и срезе этой волны трубчатыми разрядниками в линию идет волна с относительно большими, но кратковременными пиками напряжения вначале, вызванными влиянием конечной длины опоры. Эти пики накладываются на значение напряжения, рассчитанное без учета конечной длины опоры, определяемое падением напряжения в сопротивлении заземления. Крутизна волны тока молний на хвосте волны значительно ниже, чем на фронте, поэтому влияние конечной длины опоры для процессов, определяемых хвостом волны, пренебрежительно мало. Расчет процессов на фронте волны общеизвестен, и мы на нем останавливаться не будем.

Целью работы является анализ влияния последовательных отражений на защитное действие разрядников, при отражениях между местом удара и разрядником. В этом случае очевидно, что колебания на фронте волны накладываться друг на друга, при последовательных возвращениях волн к разряднику, не будут, ввиду того, что их длительность невелика по сравнению с временем движения волны по подходу. Но длина хвоста волны значительна, и на хвосте волны последовательные отражения будут многократно возвращаться к разряднику прежде, чем величина основной волны станет заметно меньше амплитуды. На этом основании мы все наши расчеты произвели без учета конечной длины опоры, а также считая, что разрядник мгновенно пробивается по достижении волной данной опоры

(этот пробой определяется процессами на фронте волны). Фактически в начале, а также на каждой ступени результирующей волны будут колебания напряжения, накладывающиеся на рассчитанную нами волну. Очевидно, однако, что после нескольких отражений вследствие особенно сильного сгла-

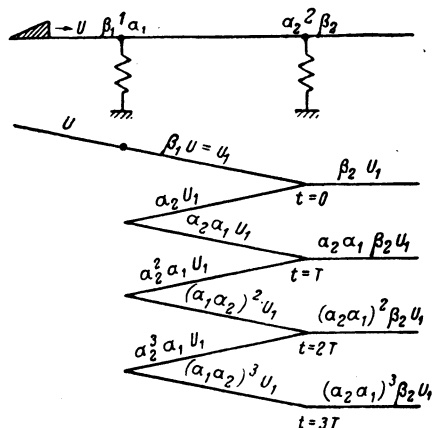


Рис. 1. Диаграмма последовательных отражений между двумя сопротивлениями

живания и затухания коротких пик волн, под влиянием емкости подстанции и других причин, эти пики будут уменьшаться и постепенно сойдут на-нет.

Влиянием емкости подстанции мы также пренебрегали, что для процессов на хвосте волны, особенно при наличии разрядника, отсасывающего тысячи ампер, не внесет сколько-нибудь заметной ошибки, конечно, за исключением специальных случаев, когда емкость подстанции весьма велика (случай защиты вращающихся машин). Следует также отметить, что только пренебрежение влиянием емкости и конечной длины опоры позволило нам в короткий срок произвести анализ весьма большого числа схем защиты и воздействий волны¹.

Для простоты расчета мы считали, что волна имела отвесный фронт. В том случае, если фронт ее пологий, ступени на результирующих кривых несколько сгладятся, не меняя общей картины процесса и величины перенапряжения.

Во всех наших расчетах мы считали, что волна имеет отвесный фронт, экспоненциальный характер и длину 40 мкс, т. е. что уравнение волны определяется выражением $u = U_0 e^{-0,0173t}$, где t — время в микросекундах.

Рассмотрим рис. 1, на котором изображена диаграмма последовательных отражений между двумя сопротивлениями. Обозначим через T промежуток времени, необходимый для двукратного пробега волны между сопротивлениями. Можно показать, что напряжение на сопротивление 2 равно произведению суммарной набегающей волны в данный момент времени и коэффициенту преломления². Результат расчета будет правилен, независимо от того, постоянный или переменный коэффициент преломления на узле 2 — β_2 , поэтому можно решать задачи и для узлов с переменным коэффициентом преломления, например для расчета защитного действия разрядников с зависимым сопротивлением.

¹ Разработанные в лаборатории им. Смурова Ленинградского электротехнического института графические и аналитические методы учета влияния емкости, параллельной тириту, а также метод эквивалентирования опоры самоиндукцией, разработанный инж. Р. А. Никольским на заводе „Электроаппарат“, позволяют произвести учет влияния конечной длины опоры и емкости подстанции в технически приемлемое время расчета (ст. М. В. Костенко, „Электричество“ № 1 и 9, 1939).

² Подробный вывод см. статью М. В. Костенко, „Электричество“ № 9, 1939.

Расчет ведется последовательными ступенями. Вначале на узел набегают только волны u_1 ; по характеристике защитного действия разрядника (напряжение на разряднике в функции от величины набегающей волны) определяем напряжение на разряднике u''_1 , соответствующее волне u_1 . После этого находим волну u'_1 , отраженную от разрядника как разность между результирующим напряжением на разряднике и набегающей волной, т. е. $u'_1 = u''_1 - u_1$. Помножив волну u'_1 на коэффициент отражения α_1 в узле 1 и коэффициент затухания K_0 при пробеге между узлами и сложив $K_0 \alpha_1 u'_1$ со значением основной волны в моменты времени, соответствующие времени возвращения в узел ранее отраженной волны, мы найдем расчетную суммарную набегающую волну в моменты времени T и $2T$.

Так как в промежутках времени между T и $2T$ волна изменяется плавно, то значения напряжения в этот промежуток времени приближенно найдем соединив прямой значения, соответствующие моментам T и $2T$.

По характеристике защитного действия определим значения напряжения в узле 2 (на разряднике), соответствующие суммарной набегающей волне в промежуток от $t = T$ до $t = 2T$. После этого найдем суммарную отраженную волну за тот же промежуток, как разность между напряжением на разряднике и суммарной набегающей волной. Помножив найденную суммарную отраженную волну на коэффициенты K_0 и α_1 и сложив это произведение со значением основной волны в моменты $2T$ и $3T$, мы найдем расчетную набегающую волну для этих моментов времени. Продолжая расчет таким же образом, последовательными ступенями, можно найти кривую напряжения на разряднике за все время.

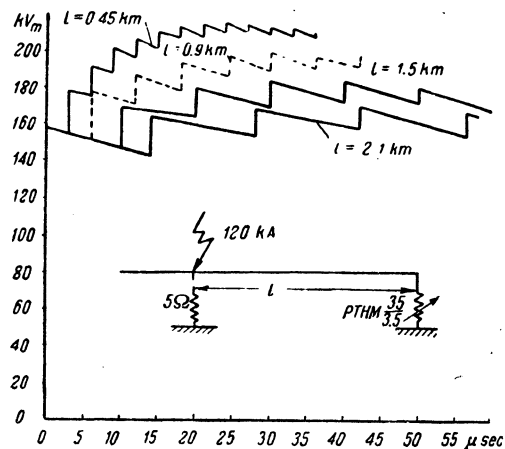


Рис. 2. Кривые напряжений на тупиковой подстанции, защищенной разрядником FTHM 35/3,5 при ударе молнии в опору подхода (подход защищен молниевыми без заземлений опор и подстанции)

процесса. Отраженная от разрядника с зависимым сопротивлением волна при больших значениях набегающей волны — отрицательная, коэффициент отражения α_1 также отрицателен. Поэтому к разряднику при последовательных отражениях возвращается положительная волна, и если основная набегающая волна достаточно длинная, то суммарная набегающая волна постепенно увеличивается пока протяжении данного времени T приращение возмущенной к разряднику после отражения от узла 1 волны не сравняется и затем станет меньше уменьшения самой волны. Соответственно увеличен

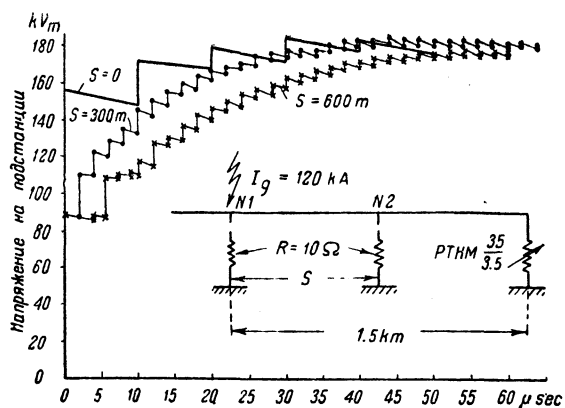


Рис. 5. Зависимость напряжения на подстанции, защищенной разрядником РТНМ $\frac{35}{3,5}$, при ударе молнии в 1-ую опору подхода от расстояния между линейными срезающими разрядниками (длина подхода неизменна)

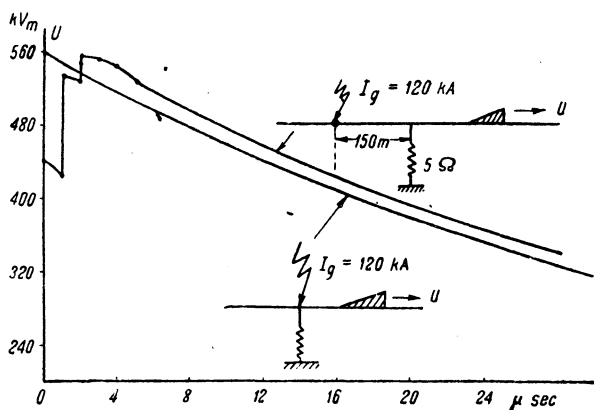


Рис. 6. Волна, проходящая в подход, при ударе молнии в 1-ую опору и в 150 м от нее

каждый или одного с сопротивлением заземления 5Ω .

Аналогичным расчетом было выяснено, что если применить два срезающих разрядника с сопротивлениями заземления в 5Ω каждый, то максимальное перенапряжение на подстанции при токе молнии в 120 kA не превышает 135 kV даже при длине подхода всего в 900 m .

До сего времени мы расчет вели для случая непосредственного удара молнии в первую опору защищенного подхода со стороны линии. Такой случай весьма редок, поэтому возникает вопрос, насколько будет меньше напряжение на подстанции при ударе молнии в линию близко от защищенного подхода. Для получения ориентировки в этом вопросе нами был проделан расчет основной волны, входящей в подход, для случая удара молнии в линию в 150 m от первой опоры подхода, при токе молнии 120 kA и сопротивлении заземления первой опоры 5Ω . При этом было принято, что перекрытия на землю в месте удара не происходит (это предположение при расстоянии от места удара до первой опоры в 150 m , вероятно, правильно). Затухание волн на протяжении 150 m не было принято во внимание, что дает небольшой запас надежности расчета.

Волна, входящая в подход при этих условиях, показана на рис. 6. Для сравнения там же показана

волна при ударе молнии непосредственно в первую опору подхода. Из рисунка видно, что практически амплитуда и форма волн в обоих случаях одинаковы. Учет затухания дает снижение напряжения приблизительно на 10% . Если удар молнии произойдет на расстоянии, значительно большем 150 m , то схема усложнится разрядом на землю в месте удара, который снизит заметно напряжение в линии только в том случае, если проводимость грунта хорошая.

Таким образом соображения, изложенные в настоящей статье, дают возможность установить напряжения на подстанции не только при непосредственном ударе молнии в первую опору подхода, но и в случае удара молнии в линию близко от первой опоры.

Выводы

1. При ударе молнии в первую опору подхода со стороны линии, или близко к ней, отражения, устанавливающиеся между местом удара и разрядником с зависимым сопротивлением, установленным на подстанции, увеличивают напряжение на разряднике, по сравнению с напряжением, рассчитанным без учета отражений.

2. Увеличение напряжения на подстанции при последовательных отражениях тем больше, чем короче подход, но и при длине подхода в $1,5\text{--}2 \text{ km}$ получается заметное увеличение. Поэтому, как правило, при расчетах необходимо вести учет последовательных отражений.

3. Расчет напряжения при последовательных отражениях в цепи, содержащей переменные параметры, нельзя вести обычной сеткой, но необходимо находить в каждый момент времени суммарные убегающие волны.

4. В случае установки на подходе двух трубчатых разрядников или координирующих промежуточных, имеющих одинаковое сопротивление заземления, напряжение на разряднике с зависимым сопротивлением при неизменной длине подхода практически не зависит от расстояния между срезающими разрядниками.

5. В случае подхода 35-kV линии, защищенной молниеотводами, без связи заземления срезающих разрядников с заземлением подстанции напряжение на подстанции не может быть ограничено до безопасной величины стационарным разрядником, имеющим падение напряжения при 1000 A — 140 kV коэффициент $\alpha = 0,27$, если в наличии имеется один срезающий разрядник на подходе с сопротивлением заземления в 5Ω или два с сопротивлением заземления в 10Ω каждый даже при длине подхода в 2 km .

6. Два срезающих разрядника с сопротивлением заземления в 5Ω каждый (или один с сопротивлением заземления $2,5 \Omega$) достаточны даже при длинах подхода в $0,9 \text{ km}$.

7. На линиях с тросом, присоединенным к заземлению подстанции, или при заземленном противесе, присоединенном к заземлению подстанции, соотношения значительно благоприятнее ввиду ороса тока молнии земной подстанции. Но количественный учет этого случая в настоящей работе произведен и требует специальных расчетов.

8. Выводы настоящей работы относятся к отклонениям на хвосте волны, без учета конечной длины фронта.

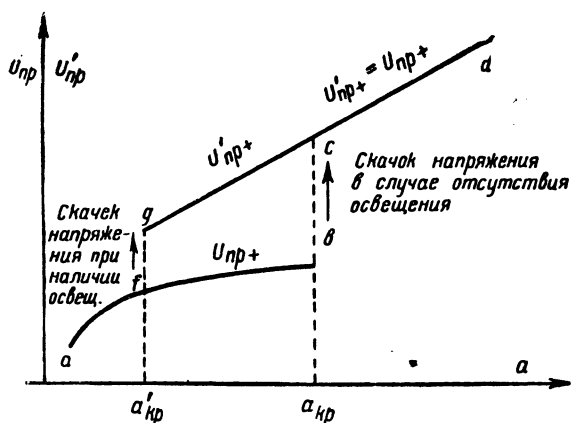


Рис. 3. Зависимость пробивного напряжения от расстояния в случае шара положительной полярности при освещении катода и без освещения

мерности и общий характер протекания наблюдаемых явлений можно представить себе так.

При повышении напряжения и достижении напряженностью поля вблизи шара достаточно большого значения, случайный свободный электрон производит вблизи шара пробой. Пробитый небольшой канал при этом оказывается заполненным малоподвижными положительными ионами.

Если шар имеет отрицательную полярность, то положительный объемный заряд канала ослабляет поле у конца канала по направлению к положительному плоскому электроду, что затормаживает дальнейшее развитие пробоя по этому пути. Возникший ионизационный процесс около шара интенсивно способствует возникновению свободных электронов и развитию ионизационного процесса в других местах у поверхности шара. В результате у поверхности шара уже при сравнительно незначительном расстоянии между электродами возникает интенсивное коронирование (положительный объемный заряд), тормозящее распространение разряда по направлению к плоскости. Пробивное напряжение при отрицательной полярности на шаре благодаря этому при увеличении расстояния между электродами становится выше напряжения, при котором начинается ионизационный процесс, т. е. начального напряжения.

В случае шара положительной полярности положительный объемный заряд пробитого канала усиливает поле у конца этого канала по направлению к плоскости. Дальнейшее развитие пробоя поэтому производится уже электронами, приближающимися из более отдаленных от шара областей поля к концу этого канала. Первоначально пробитый около шара канал благодаря этому, в отличие от случая, когда шар имел отрицательную полярность, способствует дальнейшему развитию и завершению пробоя.

В результате — вплоть до критического расстояния между электродами — пробой наступает внезапно без предварительного коронирования при начальном напряжении (рис. 2, участок ab). Легко показать вычислениями, что по мере увеличения расстояния напряженность поля у поверхности шара, при которой наступает этот внезапный пробой, растет. При достижении расстоянием критического значения, развитие пробоя происходит уже не по одному каналу, возникшему около шара, а в ряде мест около его поверхности. В результате слой воздуха при развитии разряда

около шара оказывается сплошь ионизированным и малоподвижный положительный объемный заряд возникает уже в форме коронирующего слоя у поверхности шара.

Таким образом при шаре положительной полярности условия для возникновения короны наступают внезапно и лишь при достижении расстоянием критического значения. При расстоянии, равном и большем критического значения, при достижении напряжением начального значения пробой, таким образом, уже не наступает, а возникает внезапно корона. Возникшая около положительного шара корона (положительный объемный заряд), в отличие от действия отдельного пробитого канала, затрудняет дальнейшее развитие разряда. Это имеет место потому, что хотя малоподвижный объемный заряд и стремится усилить электрическое поле в непробитой области, но благодаря равномерному пространственному распределению положительного объемного заряда около шара происходит как бы увеличение размеров электрода и для пробоя требуется напряжение значительно больше начального. Так же, например, в случае шара с диаметром в 8,65 мм критическое расстояние оказалось равным 19,2 мм и пробивное напряжение возросло скачком с 2 до 37 кВ.

На рис. 3, помимо кривых пробивного напряжения без освещения, приведены также кривые, дающие общий характер зависимости пробивного напряжения от расстояния между электродами при наличии освещения, полученные автором на основании ряда экспериментальных наблюдений.

Из кривых рис. 3 видно, что в случае шара положительной полярности при наличии освещения, так же как и в случае отсутствия его, наблюдается скачок напряжения (рис. 3, скачок f). Скачок напряжения сопровождается возникновением, предшествующим пробоем коронированием и имеет место при расстоянии $a'_{кр}$, значительно меньшем критического расстояния $a_{кр}$. В области промежуточных значений расстояний наблюдается значительное различие в величине пробивного напряжения $U'_{пр}$ при освещении от пробивного напряжения $U_{пр}$ без освещения.

При расстояниях, меньших $a'_{кр}$, как показывают наблюдения, действие освещения проявляется лишь очень незначительно ($U'_{пр} < U_{пр}$). В области расстояний, больших критического значения $a_{кр}$, освещение практически вовсе не изменяет величину пробивного напряжения. Из полученных кривых видно, что освещение не изменяет общей закономерности изменения пробивного напряжения от расстояния, но весьма сильно влияет на величину расстояния, при котором наблюдается скачок напряжения и возникновение короны.

В случае шара отрицательной полярности действие освещения не вносит существенных изменений в характер протекания процесса пробоя, изменяет лишь в области не слишком больших расстояний значения пробивного напряжения в сторону уменьшения (на рис. 3 не показано).

В свете изложенных представлений о механизме пробоя в системе шар — плоскость наблюдается экспериментально действие освещения и объяснить так.

В случае шара положительной полярности освещение увеличивает количество отрицательных

варяженных частиц вблизи него и тем самым увеличивает вероятность возникновения короны. Поэтому при наличии освещения расстояние $a'_{кр}$, при котором наблюдается скачок пробивного напряжения, значительно меньше расстояния $a_{кр}$.

Изложенные предположения о действии освещения и описанные экспериментальные наблюдения позволяют сказать, что основная роль освещения та, что возникновение коронирования и скачка пробивного напряжения может иметь место уже при расстоянии, меньшем $a_{кр}$; значение, с которого увеличивается пробивное напряжение $U_{пр}$ при этом, в основном определяется коронированием на шаре, а не наличием освещения, как таковым.

Опыты автора показали, что повышение пробивного напряжения не зависит от интенсивности освещения, вплоть до некоторого минимального значения этой интенсивности, когда освещение прекращает внезапно полностью свое действие.

Описанный опыт подтверждает, что увеличение пробивного напряжения всецело определяется тем, возникло ли коронирование на шаре или нет, и что для возбуждения этого коронирования в области расстояний меньше $a_{кр}$ требуется лишь, чтобы фототок с катода был не меньше некоторого значения.

Эти опыты навели на мысль, что раз уже возникающая, под влиянием освещения в области расстояний меньше $a'_{кр}$, запирающая искровой промежуток корона в состоянии сама себя поддерживать и развиваться уже без наличия освещения.

Наблюдения, имеющие целью это проверить, проводились следующим образом: при расстоянии между электродами, меньших $a_{кр}$ благодаря наличию освещения напряжение между электродами оставалось до значения, превосходящего $U_{пр}$, чем вызывалось на шаре коронирование. После этого действие освещения прекращалось. Пробой между электродами при этом не наблюдалось. После того напряжение повышалось. По мере увеличения напряжения интенсивность коронирования возрастала, и пробой наступал лишь при достижении напряжением значения $U'_{пр}$.

Следует отметить то, что в случае шара большего диаметра (порядка 1,2—2 см), коронирование без освещения становится заметно неустойчивым.

Кроме того, можно наблюдать эффект, кажущийся на первый взгляд парадоксальным.

Если в области расстояний, меньших $a_{кр}$ при наличии интенсивной короны (при напряжении значительно превосходящем $U_{пр}$) прекратить освещение, а затем снижать подведенное к электродам напряжение, то, так же как и в предыдущем опыте, наблюдается пробой, но в момент, когда понижающееся напряжение достигнет начального значения. В этом опыте пробой диэлектрика вызывается не повышением напряжения, а его понижением.

Проведенные опыты показывают, что любой фактор, способствующий возникновению коронирования, в состоянии вызвать повышение пробивного напряжения и в области расстояний, меньших критического значения. Повышение пробивного напряжения, возникающее при этом, не зависит от характера причины, вызывающей коронирование.

Фактором, вызывающим корону при расстояниях меньших $a_{кр}$ и действующим в этом отношении аналогично освещению ультрафиолетовыми лучами, как это удалось экспериментально установить, являются пары спирта, бензола или эфира.

В проведении опытов принимал участие ст. лаборант А. П. Шпилев.

Литература

1. Энгель и Штенбек, Физика и техника электрического разряда в газах, т. 2, 1936.
2. Schade, Zeitschr. f. Phys. B. 105, H. 9 и 10, 1937.
3. Fuchs, Zeitschr. f. Phys. B. 92, 1934.
4. Rogowski u. Fuchs, Arch. f. El. B. 29, 1935.
5. Rogowski u. Wallraff, Zeitschr. f. Phys. B. 102, 1936.
6. Rogowski u. Wallraff, Zeitschr. f. Phys., B. 108, 1938.
7. Rogowski u. Wallraff, Zeitschr. f. Phys., B. 97, 1935.
8. Brinkmann, Archiv f. Elektrot., H. 2, 1939.
9. Masch, Archiv f. Elektrot. Bd. 24, 1930.
10. R. van Cauwenberghe u. G. Marchal, Rev. Gen. d'El., т. 27, 1930.
11. Claussnitzer, Phys. Zeitschr., № 21, 1933.
12. Herz, Berl. Akad. d. Wiss., 2, 1887.
13. Heitel u. Elster, Ann. d. Phys., 39, 1890.
14. Лебединский. Журнал Русского физико-химического о-ва, Физ. отд. 67, 40, 1908.
15. Лебединский (То же), 187, 40, 1908.
16. Лебединский (То же), 211, 41, 1909.
17. M. Toepler, Arch. f. Elektrot., B. 26, 1932.
18. M. Toepler, ETZ, 28, 1907.
19. M. Toepler, Arch. f. Elektrotechn., B. 26, 1932.
20. M. Toepler, Arch. f. Elektrot., B. 27, 1933.
21. E. Marx, ETZ, 24, 1930.
22. E. Marx, Arch. f. Elektrot., B. 20, 1928.
23. Simpson, Lighting Nature, стр. 801, 124, 1929.

Принципы построения распределительных сетей общего пользования¹

В. П. ЗАХАРОВ

Узбекский филиал Академии наук СССР

В области научно-технической литературы, посвященной вопросам распределения электрической энергии, нельзя не отметить инициативу коллектива Северо-западного отделения „Теплоэлектропроекта“ по созданию новых „Руководящих указаний для проектирования городских электрических сетей“ и дискуссию, проведенную в 1939 г. редакцией журнала „Электричество“, по вопросам проектирования электросетей. Однако, к сожалению, вновь выработанные и утвержденные „Руководящие указания“ не могут быть признаны вполне удовлетворительными, а дискуссия в журнале „Электричество“ не дала решающих коррективов к старым методам проектирования. В действительности в новых „Руководящих указаниях“ отсутствует последовательное проведение какого-либо определенного принципа в построении сетей.

Так, в § 6 авторы „Руководящих указаний“, перечисляя принципы, на основе которых может вестись проектирование, наравне с принципами первоначальных затрат, минимума годовых расходов при эксплуатации и минимума расхода дефицитных материалов и оборудования, выдвигают в качестве равноценного принципа технические качества вариантов. Это уже указывает на отсутствие у авторов определенной принципиальности в постановке вопроса. Дело в том, что под техническими качествами распределительной сети следует подразумевать такие ее свойства, чтобы она удовлетворяла высокому качеству энергоснабжения потребителей энергии, присоединенных к ней, т. е. высокому качеству энергии по напряжению (соответствие номинальной величине и постоянство во времени), высокой надежности и бесперебойности энергоснабжения и т. п. Всем этим качествам должна удовлетворять сеть вне зависимости от принципа, который кладется проектировщиками в определение тех или иных параметров.

В отношении расчетных принципов авторы „Руководящих указаний“ рекомендуют в различных случаях различные принципы, предоставляя проектировщикам пользоваться всеми применяемыми в литературе о сетях методами расчета. Так, с одной стороны, в § 15 они выдвигают как основной расчетный принцип минимум годовых эксплуатационных расходов. С другой стороны, в том же параграфе принцип экономии цветных металлов выражен в виде искусственных соотношений конечных разностей, т. е. завуалированными „коэффициентами дефицитности“. В-третьих, на решающем участке проектирования сети для выбора числа трансформаторных пунктов авторы в § 69 выдвигают принцип минимума капитальных затрат, не замечая, что это положение противоречит изложенному в § 15.

Дискуссия 1939 г. в журн. „Электричество“ № 1, за исключением выступления проф. В. И. Вейца, не вскрыла указанного недочета „Руководящих указаний“. Так, в области расчетных принципов можно напомнить нижеследующие положения, выдвинутые отдельными участниками дискуссии: инж. С. Г. Егоров, инж. М. Р. Сонин устанавливают недопустимость применения принципа Томсона, т. е. минимума эксплуатационных расходов, без существенных коррективов; инж. Л. М. Фингер, проф. В. И. Вейц и инж. И. С. Бессмертный вполне основательно утверждают недопустимость введения в расчеты сетей „коэффициентов дефицитности“ или „коэффициентов экономии“ для сочетания принципов минимума эксплуатационных расходов и экономии цветных металлов; инж. И. С. Бессмертный, инж. Ф. Лашков, проф. В. Н. Степанов вносят или поддерживают применение искусственных эквивалентов дополнительных расходов цветных металлов и потерь энергии, что является завуалированным введением тех же „коэффициентов дефицитности“. Серьезная критика принципиальной стороны вопроса в дискуссии дана только проф. В. Вейцем, который дал краткую, но достаточно черпывающую критику всех выдвигавшихся „Руководящих указаний“ и в литературе принципы расчета и построения сетей.

„В качестве ведущего расчетного принципа должен быть принят... показатель народнохозяйственной себестоимости энергии“... (разрядка Вейца).

Здесь следует обратить внимание, что проф. Вейц говорит о «народнохозяйственной себестоимости», а не о сметной себестоимости, минимизация которой совпадает с минимумом эксплуатационных расходов. Для большей ясности проф. Вейц указывает, что «вариант, отвечающий условию минимума народнохозяйственной себестоимости энергии, должен быть прокорректирован анализом баланса цветных металлов. На современном (разрядка Вейца) этапе последний фактор в каждом случае является решающим». Однако проф. Вейц ограничился принципиальной постановкой вопроса, но совершенно не остановился на применении в расчетной практике.

Автор настоящей статьи в своих работах по практическому проектированию распределительных сетей для средних и малых городов и научных проработках попытался проанализировать влияние различных параметров распределительной сети на капитальные затраты, издержки производства и расходы по цветным металлам и дефицитному оборудованию. Все эти исследования вели автора к выводу, что решение по минимизации максимальной экономии расхода дефицитных материалов (цветных металлов) и оборудования при соблюдении качественных условий сети

близко к решениям по принципу минимума народнохозяйственной себестоимости.

Примером может служить прилагаемый график (рис. 1) зависимостей капитальных затрат k , издержек производства и стоимости дефицитных материалов и оборудования k_d и стоимости меди k_m от среднего расстояния между трансформаторными пунктами L для одного из районов Ташкента. Из этого графика видно, что применение принципа минимума капитальных затрат (рекомендуемый авторами „Руководящих указаний“) вызывает не только значительный перерасход меди, но и всех дефицитных материалов и оборудования и даже в отношении сметных издержек производства дает некоторое их повышение.

Эти исследования натолкнули автора настоящей статьи на попытку последовательного проведения в построении распределительных сетей принципа минимального расхода дефицитных материалов и оборудования при сохранении технического качественного уровня сети. Следует заметить, что все выводы и рекомендации автора относятся лишь к распределительным сетям средних и малых населенных пунктов. Так например, автор не отрицает огромных преимуществ сети типа «сплошной сетки» для районов крупных городов с очень высокой плотностью потребления энергии мелкими потребителями. Но нужно, как известно, иметь в виду, что тип «сплошной сетки» качественно совершенно отличен от сети просто замкнутой или «магистрального типа» при малой плотности нагрузки.

Автор изложил свои обоснования предлагаемой системы построения распределительных сетей в ряде статей (в «Известиях Средне-Азиатского индустриального института» № 1 и 2, 1936) и в своей кандидатской диссертации.

В настоящей же заметке автор только пересказывает выводы этих работ.

1. Высоковольтная распределительная сеть должна, как правило, выполняться конструктивно замкнутой, но эксплуатироваться разомкнутой, с выключением от руки или от сетевых автоматов в случае аварии на одном из участков такой распределительной линии, соединяющей два или более различных фидерных пункта. Такой «замкнуто-разомкнутый» тип, обеспечивая надежность энергоснабжения и поддержание напряжения во всех трансформаторных пунктах, дает минимум расхода металла и оборудования, так как сечения кабеля обычно определяются сверхтоками, а зато весьма упрощается.

Наиболее эффективным является расположение трансформаторных пунктов по «равнобедренным треугольникам», причем ряды трансформаторных пунктов, совпадающие с основным направлением уличной сетки, отстоят друг от друга на расстояниях, равных расстояниям между трансформаторными пунктами в каждом ряду. Этот расстановки трансформаторных пунктов, вызывая незначительный перерасход металла в низковольтной сети по сравнению с «шахматным» положением, дает значительную экономию металла в высоковольтной сети.

Расстояния между трансформаторными пунктами могут определяться по формуле:

$$L = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 10^6 \cdot B \cdot \gamma \cdot \varepsilon_d}{n \cdot \sigma_p \cdot \delta}} \quad [m] \quad (1)$$

где

B — расходы по дефицитным материалам и оборудованию, не зависящие от мощности трансформаторных пунктов, на один трансформаторный пункт, включая участок высоковольтной распределительной сети, приведенные к килограммам проводникового материала низковольтной сети (меди);

γ — характеристика низковольтной сети:

$$\gamma = \frac{U_\phi^2}{\rho \cdot r \cdot 10^6}$$

(для трехфазной сети напряжения 380/220 V с медными проводами $\gamma \approx 60$);

ε_d — допускаемая потеря напряжения низковольтной сети в %;

n — число проводов (по сечению) в низковольтной сети, которое следует брать порядка 3,7—4,0;

σ_p — плотность распределенной по площади района или города нагрузки, присоединенной к низковольтной сети в W/m^2 или MW/km^2 ;

δ — удельный вес проводникового материала низковольтной сети.

Из всех величин, входящих в эту формулу, не которой условностью отличается величина B . Исходя из современного положения с материалами, мы полагаем необходимым включать в нее: а) вес проводов высоковольтной распределительной сети, если они сделаны из цветного металла, длиной порядка (1,25—1,50) L ; б) свинцовую оболочку кабеля высоковольтной распределительной сети, пересчитанную в соответствии с отношением цен в kg проводникового материала низковольтной сети; в) вес ошинок и цветного металла коммутационной аппаратуры трансформаторного пункта; г) постоянную составляющую цены трансформатора, не зависящую от его мощности, пересчитанную по весу проводникового материала низковольтной сети. Таким образом величина B может колебаться в пределах 150—200 kg на трансформаторных пунктах для случая воздушного подвода высоковольтной распределительной сети на железных проводах и в пределах 500—1000 kg на трансформаторных пунктах для случая кабельного подвода высоковольтной распределительной сети с масляным выключателем в трансформаторных пунктах.

4. Ориентировочные (контрольные) количества материалов по району распределительной сети могут быть определены по формулам.

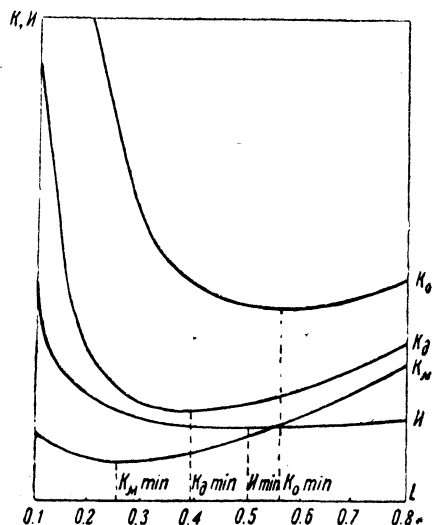


Рис. 1

Вес проводникового металла в низковольтной сети:

$$\Sigma G \approx \sqrt{\frac{B \cdot F \cdot P \cdot n \cdot \delta}{3 \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}} [t] \quad (2)$$

Число трансформаторных пунктов (мы рекомендуем всегда применять трехфазной трансформаторный пункт):

$$N \approx 1,05 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot P \cdot n \cdot \delta}{3 \cdot B \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}} \cdot 10^3. \quad (3)$$

Средняя мощность трансформаторов:

$$P_{\text{ср}} \approx 1,2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot B \cdot P \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}{F \cdot n \cdot \delta}} [\text{kVA}]. \quad (4)$$

Длина кабеля или линий высоковольтных распределительных сетей:

$$\Sigma L_B \approx (1,25 - 1,50) \cdot \sqrt{\frac{F^3 \cdot P \cdot n \cdot \delta \cdot 10^6}{3 \cdot B \cdot \gamma \cdot \epsilon_d}} [\text{km}]. \quad (5)$$

При пользовании всеми этими формулами следует иметь в виду, что город должен быть разбит на районы с приблизительно постоянными плотностями нагрузки, и перечисленные величины для каждого из них должны определяться по отдельности. При определении этих величин сразу осредненно для всего города или населенного пункта эти величины получатся заведомо несколько завышенными.

В этих формулах приняты обозначения:

F — площадь города или его района в km^2 ,

P — мощность потребителей, присоединенных к низковольтной сети по городу или его району, в MW.

Для величин B , n , δ , γ и ϵ_d приняты те же обозначения, что и в формуле (1).

5. Конфигурация низковольтной сети для средних и малых населенных пунктов должна браться исключительно как разомкнутая, а при достаточной длине по монтажным условиям — переменного сечения. Замкнутая сеть обеспечивает большую надежность только в случае возможности ее выполнения по типу „сплошной сетки“, при большой плотности нагрузки и обычно в кабельном выполнении низковольтной сети. В противном случае замыкание сети фактически не дает повышения надежности эксплуатации, а лишь усложняет ее и вызывает, как показывают исследования, перерасход от 20 до 50% веса проводникового материала.

Полузамкнутый тип сети дает совершенно ненужную возможность переброски нагрузок с одного трансформаторного пункта на другой, в то время как эксплуатационная корректировка нагрузок низковольтной сети должна вестись путем смены трансформаторов и перевески проводов воздушной низковольтной сети. Рассечение сети между трансформаторными пунктами должно производиться „холостыми“ пролетами, затянутыми для механической прочности заземленным железным проводом, и в точках равноудаленных по проводам от обоих трансформаторных пунктов, между которыми производится рассечка. Таким образом ток в любую точку потребления должен переходить по наименьшему пути по низковольтной сети. Следует категорически отказаться от рас-

форматорных пунктов, по соображениям разгрузки или догрузки трансформаторов, так как подобная неправильная рассечка не дает ничего кроме вреда в отношении качества энергии или излишнего расхода проводникового материала.

Фиктивный недостаток разомкнутой сети в отношении возможных перебоев при дальнейшем развитии сети компенсируется тем, что по рекомендуемыми нами формулам низковольтная сеть получается чрезвычайно легкой с доминированием малых сечений проводов (6—35 mm^2), которые легко поддаются перевеске без значительных перебоев. Предположения же авторов, рекомендуемых „магистральный“ тип низковольтной сети в отношении легкости дальнейшего развития сети на деле не всегда оправдываются, так как развитие может пойти не по направлениям приняты магистралей, а неточности первоначальных предположений о размещении потребителей вызывают сплошь и рядом необходимость перевески проводов.

6. Расчет сечений проводов низковольтной сети должен производиться на постоянное сечение лишь при длине линий менее 250 м при отсутствии ответвлений по поперечным улицам.

Во всех прочих случаях следует рекомендовать расчет сечений по принципу минимума проводникового материала. Автором настоящей заметки разработана методика практических расчетов низковольтной сети по этому принципу для многократно разветвленной сети с произвольным размещением нагрузок („Известия Средне-Азиатского индустриального института“ № 2, стр. 17—19, 1936). При этом такой расчет при пользовании нормальной логарифмической линейкой требует не больше времени от расчетчика, чем расчет низковольтной сети по другим методам.

7. При применении четырехпроводной трехфазной системы для низковольтной сети нельзя пренебрегать качеством нулевого провода. Исследование показывает, что при соблюдении данного уровня качества энергии отношение сечения нулевого провода к сечению фазовых проводов исходя из принципа минимума расхода проводникового материала, должно быть равно:

$$a = \frac{q_0}{q} = \sqrt{\frac{9\delta}{1 + 2\delta}},$$

где δ — средневзвешенный коэффициент неравномерности нагрузки системы:

$$\delta = I_0 : \frac{1000 \cdot P}{U_\phi}.$$

Следует рекомендовать для концевых сечений принимать в учет $\delta = 15\%$ или $a = 0,64$, а для основных питающих линий низковольтной сети $\delta = 5\%$ или $a = 0,64$. Таким образом во всех случаях следует рекомендовать сечение нулевого провода большее половины сечения фазовых проводов. Рекомендацию авторов „Руководящих указаний“ (§ 103) применять нулевой провод с проводимостью в $1/3$ от проводимости фазовых проводов следует считать недоразумением.

8. Материалом проводов низковольтной сети следует принимать в основном медь, так как алюминий имеет отрицательные свойства в отношении устройства многократных отводов к потребителям, так и в отношении возможности перевески проводов. Легкость получающейся предлагаемого метода сети дает возможность

массовой замены медных проводов с сечениями $<10 \text{ mm}^2$ железными проводами равной проводимости, что легко осуществляется по элементарному графику. Такая замена дает дополнительную экономию цветного металла, не учитываемую формулой (2). Однако эта замена почти всегда ведет к повышению капитальных затрат. Все предварительные расчеты сечений проводов низковольтной сети мы рекомендуем все же приводить по меди.

Аналитические и практические исследования показывают, что предполагаемый нами метод построения распределительных сетей дает значительную (в 2—3 раза) экономию проводниковых материалов при относительно небольшом увели-

чении капитальных затрат (20—30%). Так, для Ташкента, Самарканда и Коканда наши исследования показывают, что наличное в низковольтной сети количество меди дает возможность увеличения ее пропускной способности в 2—5 раз при снижении потерь напряжения в низковольтной сети до 4%. В отношении потерь энергии предлагаемый нами метод имеет все преимущества, так как он и в низковольтной сети, и в высоковольтной распределительной сети дает снижение этих потерь, по сравнению с рекомендуемыми методами в „Руководящих указаниях“ (расстановка трансформаторных пунктов по минимуму капитальных затрат и „магистральный“ или полужамкнутый тип низковольтной сети).

К вопросу применения железных проводов*

О. Г. ВЕКсельман

Харьков, Теплоэлектропроект

В настоящее время вопрос использования железных проводов для воздушных линий электропередач является актуальным.

Выявлению допустимой плотности тока для железных проводов должно предшествовать определение рекомендуемой плотности тока проводов из цветного металла, так как сечения проводов для воздушных линий передач, по условиям экономики, должны выбираться по единому методу. Нами приняты в качестве исходных следующие положения.

1. Необходимо категорически отказаться от определения экономически наивыгоднейшего сечения провода по минимуму эксплуатационных расходов — по известной формуле Кельвина, так как значения отдельных составляющих, входящих в эту формулу, практически не могут быть правильно выбраны.

Стоимость энергии резко отличается в разных районах Союза и поэтому она не может быть положена в основу расчета, тем более что при исчислении необходимо знать стоимость энергии для ближайшего ряда лет.

От учета изменения расчетной стоимости металла введением коэффициента, характеризующего степень дефицитности металла, следует отказаться, так как этот коэффициент вряд ли может быть обоснован в общем виде.

2. Определение сечения проводов из условий экономичности должно производиться по показателю экономии электроэнергии, приходящейся на дополнительно затрачиваемую единицу веса металла проводов.

Неправильно исходить только из необходимости экономить цветной металл, а следует одновременно руководствоваться и соображениями экономии потерь энергии, и только лишь учет этих двух единственно реальных в наших условиях показателей может дать рациональное решение вопроса.

Потери мощности в линии, зависящие от нагрузки и числа часов максимальных потерь t_m как функции числа часов использования максимума T , могут быть относительно достаточно точно определены.

* В порядке обсуждения. Ред.

Значение T , хотя и колеблется для линий электропередачи от 3000 до 6000 ч, но для предприятий того или иного характера и с известным числом смен работы может быть также определено с достаточной точностью для того же расчетного периода.

В области шкалы больших сечений изменение сечения провода мало отражается как на падении напряжения (индуктивного в основном по своему характеру), так и на уменьшении потерь энергии. В диапазоне мелких сечений проводов увеличение сечения приводит при относительно небольшом добавочном вложении металла к относительно значительным сокращениям потерь энергии.

Подсчеты показывают, что значительного абсолютного уменьшения потерь энергии можно достичь при относительных потерях примерно порядка до 25 MWh/t для медных и до 50 MWh/t для алюминиевых проводов. Абсолютные потери энергии при этих исходных данных достаточно велики, но все же они относительно незначительны по сравнению с величиной передаваемой энергии. Учитывая необходимость экономить цветные металлы, Украинское отделение Теплоэлектропроекта в последние годы запроектировало значительное число линий передач, сечение которых выбиралось по условиям экономичности, исходя примерно из вышеуказанных значений потери энергии.

Значение потерь энергии можно выразить через плотность тока, которую можно рассматривать в этом случае, как приемлемую плотность тока по условиям экономичности.

Уменьшение потерь энергии на 1 t дополнительного расхода металла, принимаемых равными порядка 25 и 50 MWh/t для медных и алюминиевых проводов,

$$k = \frac{\Delta P}{\Delta G} = \frac{I^2 \rho \tau}{s \cdot \gamma} = \frac{j^2 \rho \tau}{\gamma},$$

где ΔP — изменение потерь энергии, ΔG — изменение веса проводов, j — плотность тока, ρ — удельное сопротивление проводов, равное 18,3 и 30,4 $\Omega \text{ mm}^2/\text{km}$ для медных и алюминиевых проводов, γ — удельный вес материала провода (8,9 и 2,7 для меди и алюминия), τ — число часов мак-

допустимой величины потери энергии 50 MWh на 1 t алюминия. При подсчетах за единицу веса принят вес 1 t алюминиевого провода. Вес железного провода приведен к эквивалентному весу алюминиевого провода по соотношению:

$$s_{ж} = \frac{\rho_{ж} \gamma_{ж}}{\rho_{а} \gamma_{а}} = \frac{143 \cdot 7,85}{30,4 \cdot 2,7} = 13,7 s_{а}.$$

В заключение следует оговорить, что наряду с рассмотренным здесь способом выбора материала и сечения проводов при данном напряжении и известной схеме сети должны быть рассмотрены, а в дальнейшем в той или иной мере также регламентированы, и возможности экономии металла за счет применения повышенного напряжения, соответствующих схем коммутации и т. д.

Об экономии цветных металлов в моторных сетях

Ю. М. ФАЙНБЕРГ
Харьков, «Электромонтаж»

В промышленных установках широко применяются двигатели постоянного тока. Серии машин нормального исполнения разработаны для напряжений не свыше 500 V, и поэтому канализация энергии для питания двигателей связана со значительным потреблением цветных металлов. Обычно при расчетах моторных сетей сечения, выбранные по допустимой плотности тока, проверяются на падение напряжения из того условия, чтобы на зажимах двигателей напряжение было не ниже минимально допустимого для них по стандартам. Ниже показывается, что указанные предпосылки расчета сети приводят к излишнему перерасходу цветного металла, обусловленному выбором сечений по падению напряжения. Выдвигаемые в статье предположения имеют наибольший практический интерес для двигателей с повторно-кратковременным режимом работы.

Для общности обратимся к принципиальной схеме включения реверсивного компаундного двигателя с автоматическим управлением от магнитного контроллера (магнитной станции, рис. 1). Эта же схема полностью соответствует включению шунтового двигателя со стабилизирующей обмоткой. Будем различать два участка цепи электроснабжения: 1) питательная сеть — часть цепи от генератора до общих шин питания группы двигателей; 2) распределительная сеть — часть цепи от общих шин питания группы двигателей до каждого двигателя в отдельности, — цепь индивидуального питания двигателя. В § 27 разработанного проекта стандарта на электродвигатели крановые, подъемные и металлургические постоянного тока (взамен ОСТ 7306) указывается: «допустимое колебание напряжения на зажимах якоря или цепей возбуждения устанавливается $\pm 10\%$. В этих пределах заводом-изготовителем сохраняются гарантии за качество работы электродвигателей».

Для суждения о возможном падении напряжения в распределительной сети в табл. 1 приведены сопротивления (в процентах к «номинальному») 100 м провода (при температуре 20°) с резиновой и кабеля с бумажной изоляцией, выбранных по плотности тока для двигателей типа КПД 220 V.

Под «номинальным» понимается та величина сопротивления, которая должна быть в цепи, чтобы по ней при номинальном напряжении протекал ток, равный номинальному току двигателя.

Сечения проводов и кабелей указаны для случая прокладки в железных трубах, в сухом песке, при 2—3 трубах, идущих рядом.

Таким образом при длине кабельной распределительной сети 100 м падение напряжения в ней при 2,5-кратном пусковом токе и температуре жил 50° будет находиться в зависимости от габарита двигателей в пределах

$$(3,2 \div 7,95)\% \cdot 1,12 \cdot 2,5 = 19 \div 22,2\% \quad (a)$$

номинального напряжения сети¹. Длина проводов распределительной сети бывает значительно выше 100 м. В практике нередко полная длина выводов распределительной сети отдельного двигателя достигает 300 и более метров. В таких случаях падение напряжения при пуске двигателя в проводах распределительной сети, выбранных по плотности тока, могло бы достигать 27 ÷ 66%. Эти величины кажутся проектировщику измерными, противоречащими нормам, и он стремится обеспечить

¹ Коэффициент 1,12 учитывает увеличение сопротивления температурой.

Таблица 1
Сравнительная таблица сопротивлений проводов и кабелей для распределительных сетей двигателей КПД 220 V постоянного тока

Тип двигателя	Провод ПРТО в трубе		Двужильный кабель	
	сечение mm²	сопротивл. 100 м в % к номин.	сечение mm²	сопротивл. 100 м в % к номин.
22/1002	2,5	7,95	2,5	7,95
30/1002	6	4,50	2,5	10,8
55/1003	10	3,57	2,5	14,30
75/1003	10	5,25	4	12,70
110/734	16	4,66	6	12,50
150/704	25	4,06	10	10,15
220/615	35	4,16	16	9,10
300/555	70	2,92	35	5,85
400/516	95	2,48	50	4,75
500/406	95	2,97	70	4,08
640/467	120	2,82	95	3,54
800/447	150	2,63	120	3,32
1000/428	240	2,02	180	2,60

печить на зажимах двигателя «допустимое» напряжение путем увеличения сечения проводов, повышением напряжения генераторов, либо комбинацией обеих мер.

Потребность прибегать к этим средствам, очевидно, должна будет возрасти в будущем, при выпуске двигателей по новому, уже цитированному, стандарту, так как этот стандарт предусматривает, как допустимую, кратность пускового тока до 3,6; 3,2 и 3,0, соответственно, для серийных, компаундных и шунтовых двигателей.

Применяя мероприятия для ограничения падения напряжения в сети, одновременно с тем прибегают к включению пусковых сопротивлений в цепь якоря двигателя, поглощающих значительную долю напряжения. В связи с этим возникает мысль о целесообразности использования самих проводов в качестве элемента пускового сопротивления, остающегося, конечно, включенным и после окончания пуска двигателя. Это позволит не увеличивать сечение проводов против выбранного по плотности тока.

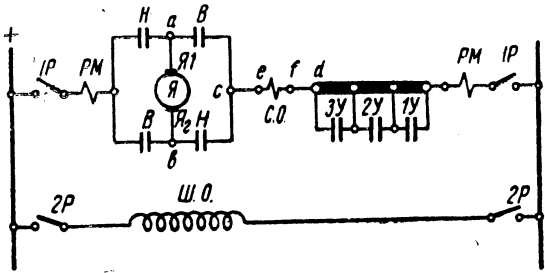


Рис. 1. Принципиальная схема включения реверсивного двигателя постоянного тока

Сравнение режимов разгона компаундного двигателя для предельных значений пути

Пред. скор. двиг. в % от номин.	Пред. путь в оборотах	$M_c = 25\%$							$M_c = 100\%$					Пред. путь в оборотах
		В р е м я							В р е м я					
		sec	н о м е р р а с ч е т а					sec	н о м е р р а с ч е т а					
			1	2	3	4	5		6	7	8	9		
		% знач. величин							% знач. величин					
70	6,21	0,934	99,95	100,9	97	96,7	88,9	1,833	99,2	90,5	98,0	93,63	12,44	
86—88	11,6	1,255	101,8	103,12	99,7	100	94,86	2,235	100,5	100,3	—	—	18,34	
100	13,31	1,373	98,4	100,6	97,2	100,6	92	2,735	—	—	—	—	26,84	

Таблица 5

Сравнение режимов разгона серийного двигателя для предельных значений пути

Пред. скор. двиг. в % от номин.	Пред. путь в оборотах	$M_c=50\%$			$M_c=100\%$			Пред. путь в оборотах
		В р е м я			В р е м я			
		$r=0$ (sec)	$r_c=12,5\%$	$r_c=25\%$	$r=0$ (sec)	$r_c=12,5\%$	$r_c=25\%$	
			(% знач.)			(% знач.)		
70	2,74	0,576	—	98,6	1,007	—	100,5	5,16
75	3,43	0,646	100	—	1,277	100	—	7,54
84—85	4,08	0,711	95	—	1,372	97	—	8,61
100	6,23	0,894	107	—	1,802	—	—	13,64

успев закончить процесс запуска. В таких случаях решающим является условие прохождения рабочим органом механизма в заданный отрезок времени определенного пути.

Результаты расчетов по этому критерию даны в табл. 4 и 5.

Как видно из таблиц, при сопротивлении распределительной сети около 12,5%, оба рассматриваемых двигателя достигают 70—75% номинальной скорости быстрее, чем в случае $r_c = 0$, однако проходя при этом меньший путь в оборотах. Но заданный путь «идеального» случая ($r_c = 0$) двигатели могут пройти не только без потери, но для некоторых вариантов даже и с выигрышем времени.

При $r_c = 25\%$ компаундный двигатель достигает скорости 75% за меньшее время, проходя относительно меньший путь. При $M_c = 100\%$ этот двигатель при ничтожном изменении пускового сопротивления может достичь скорости 75% практически за время идеального случая. Серийный двигатель достигает 68—70% скорости при этом же сопротивлении сети за несколько большее время (106—122%), сделав, однако, при этом больше оборотов (113—160%).

Заданный путь оба двигателя при $M_c = 100\%$ и $r_c = 25\%$ проходят также, во всяком случае, без потерь во времени.

Практически те же выводы соответственно для компаундных и серийных двигателей могут быть сделаны для разгона в среднем до 85% оборотов.

При наличии постоянно включенного омического сопротивления последовательно с якорем и $M_c = 100\%$ двигатели не могут, конечно, достичь номинальной скорости.

Таким образом требование проекта стандарта о поддержании напряжения на зажимах якорей крановых подъемных и металлургических двигателей для повторно-кратковременного режима работы не ниже 90% номинального не является обоснованным, во всяком случае в той формулировке, которая принята в проекте стандарта.

Действительно, при наличии нормального напряжения на обмотках возбуждения двигателей требование о поддержании определенной величины напряжения на якоре разумно лишь в той мере, в какой оно обосновано влиянием на величину мощности двигателя иных условий вентиляции при изменившейся скорости двигателя. Однако выбор двигателя для повторно-кратковременного режима нашими стандартами не связывается условиями в отношении эксплуатационной скорости двигателя, и, естественно, ограничения в отношении допустимого уменьшения напряжения на якоре лишены технических обоснованных мотивов.

При изложенном подходе к расчету распределительной сети возможно достичь весьма значительной экономии цветных металлов, так как переход к следующему сечению, против выбранного по плотности тока, дает увеличение проводникового материала: в зоне малых сечений ($2,5 \div 25 \text{ mm}^2$) на 170—155%, средних ($35 \div 95 \text{ mm}^2$) на 143—135% и зоне больших сечений ($120 \div 240 \text{ mm}^2$) на 129—123%.

Экономия металла может быть получена не только в распределительной, но, понятно, и в питательной сети, так как можно с некоторыми ограничениями допустить в этой сети большее падение напряжения.

Необходимо специально подчеркнуть следующее обстоятельство.

Увеличение сопротивления распределительной сети двигателей повторно-кратковременного режима, которую можно рассматривать как элемент пускового сопротивления, не вызывает практически повышения потери электроэнергии. Но всякое повышение сопротивления питательной сети, возникающее при любых мероприятиях по экономии цветных металлов, неизбежно связано с увеличением потерь электроэнергии.

Для выявления экономически целесообразного предела этих мероприятий важно иметь правильный критерий, определяемый общими интересами народного хозяйства.

Основные соотношения для контура газосветной лампы

Р. Г. ИЗВЕКОВ

Московский электроламповый завод

Газоразрядные лампы и приборы начинают занимать прочное положение в светотехнике и прикладных областях, где используются как свойства радиации, так и особенности самого разряда. В связи с этими приборами возник новый раздел теоретической электротехники, который можно назвать электротехникой газового разряда. К кругу вопросов, охватываемых этим разделом, относится и настоящая статья, в которой дан анализ схем с газовым разрядом и экспериментальная проверка. Основные опыты производились с ртутными лампами высокого давления — типа Игар — с самокалящимися электродами.

Общие характеристики схемы. Как известно, падающая вольтамперная характеристика разряда требует для его стабилизации включения некоторого балластного сопротивления (прибора включения). Для переменного тока наибольший интерес представляют схемы с индуктивным балластным прибором включения (рис. 1).

Сопоставление падающей вольтамперной характеристики разряда и возрастающей — прибора включения — показывает, что при заданных напряжениях U_c сети и U_d лампы сила тока в цепи, а следовательно, и мощность зависят от характеристики балластного сопротивления.

Естественным эксплуатационным требованием является максимальная стабильность мощности ламп при наличии определенных производственных допусков по их параметрам и некоторых колебаний напряжения в питающей сети.

Зная вольтамперную характеристику $f_1(U_d, I)$ прибора включения и называя производную $\frac{dU_d}{dI}$ крутизной характеристики, предыдущие условия можно выразить следующим образом.

Сохранение постоянной мощности ламп для некоторого диапазона их напряжения требует падающей крутизны вольтамперной характеристики прибора включения. Закон изменения крутизны может быть определен, если известна зависимость $f_2(U_c, U_d, U_d)$ для напряжений, действующих в контуре.

Стремление снизить изменение мощности лампы в связи с колебаниями напряжения сети приводит к требованию максимально возрастающей крутизны характеристики прибора включения. Как видно, эти два условия взаимно противоречивы. Кроме этого, для ряда ламп с парами металлов существенную роль для их разгорания играет начальная мощность при включении, что

диктует новое условие для работы контура. Обычно в этих условиях начальное напряжение на лампах мало и пусковая сила тока близка к току к. з. Отсюда определяется третье требование к характеристике прибора включения, которое часто не согласуется с одним из первых двух условий, а иногда и с обоими вместе. Все это указывает на необходимость определения оптимальных параметров схемы и наилучших условий эксплуатации газоразрядных ламп. Для решения этой задачи необходимо знать основные электротехнические связи, имеющие место в контуре.

Элементарные электрические процессы в основной схеме. Для определения связи между эффективными электрическими величинами, действующими в схеме газосветной лампы, необходимо рассмотреть элементарные процессы, происходящие в цепи при переменном токе.

Для получения наиболее ясной картины протекания разряда на переменном токе, а также возможности некоторых обобщений, рассмотрим осциллограммы ламп, включенных при помощи омических и индуктивных сопротивлений. На рис. 2 представлена весьма характерная осциллограмма для ртутной лампы сверхвысокого давления типа СВД-Ш, включенной последовательно с омическим сопротивлением. Кривые напряжений U_c — сети, U_d — лампы и U_R — балластного сопротивления на этой и дальнейших осциллограммах записаны в одном масштабе; кривые тока i сдвинуты на 180° .

Рассматривая процесс за время полупериода дуги, можно отметить, что при увеличении напряжения на лампе сопутствует весьма медленное возрастание тока. Это ток самостоятельного разряда, обусловленный осциллограммой точной ионизацией. В точке перегиба кривой i соответствующей потенциалу зажигания дугового разряда, имеет место повышение силы тока. Пренебрегая весьма ничтожным током несамостоятельного разряда, мы вправе сказать, что ток дугового разряда запаздывает по отношению к напряжению на лампе на некоторый угол φ_z , соответствующий потенциалу зажигания разряда. Потенциал зажигания дугового разряда

$$U_z = U_{cm} \sin \varphi_z,$$

где U_{cm} — амплитуда сетевого напряжения.

Заметно отличная картина наблюдается при включении лампы с индуктивным балластным сопротивлением. На рис. 3 представлены осциллограммы для ртутной лампы высокого давления (Игар-2) при различных ее напряжениях, включенной последовательно со стандартным ламповым дросселем ДБ 0,5/0,22 бронзового и опытным дросселем D с незамкнутым сердечником.

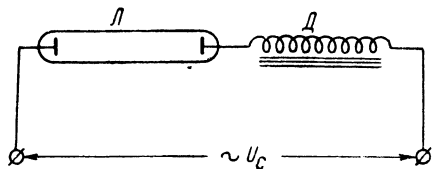


Рис. 1. Основная схема включения газосветной лампы L с индуктивным балластным сопротивлением D

балластном сопротивлении

$$U_0^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (u_c - u_n)^2 d\omega t = U_c^2 + U_n^2 + \frac{2}{\pi} \int_0^\pi U_{cm} \sin(\omega t + \varphi) \sum_{k=1}^{\infty} U_{akm} \sin(k\omega t + \psi_k) d\omega t = U_c^2 + U_n^2 - U_{cm} U_{a1m} \cos(\varphi - \psi_1). \quad (5)$$

Применяя известные соотношения для несинусоидальных величин, получим:

$$U_0^2 = U_c^2 + U_n^2 - 2 \cdot U_c U_n \frac{\cos(\varphi - \psi_1)}{\sqrt{1 + k_{du_n}^2}}, \quad (6)$$

где k_{du_n} — коэффициент искажения кривой напряжения на лампе.

Обозначая:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + k_{du_n}^2}} = p \quad (7)$$

и

$p \cos(\varphi - \psi_1) = \cos(\varphi - \psi)$, выражение (6) можно переписать в следующем виде:

$$U_0^2 = U_c^2 + U_n^2 - 2 \cdot U_c U_n \cos(\varphi - \psi). \quad (8)$$

Последнюю формулу можно геометрически интерпретировать как соотношение для треугольника Oab со сторонами U_c , U_n и U_0 (рис. 4). Как показывают вычисления и будет видно из дальнейшего, введение коэффициента p в качестве поправки к аргументу косинуса, сохраняя точность аналитического соотношения (8), не приводит к сколь-нибудь значительным практическим искажениям при графическом анализе диаграмм.

Обозначим приведенное активное сопротивление дросселя (с учетом потерь в железе) r , тогда (рис. 4) $\frac{r}{\omega L} = \tan \delta$. Пользуясь рис. 4 и теоремой синусов, определяем:

$$\varphi = \arccos \left[\frac{U_n}{U_c} \cos(\varphi + \delta) \right] - \delta. \quad (9)$$

Подставляя найденное значение угла φ в формулу (8), применяя теорему сложения и делая преобразования, получим:

$$U_0 = \sqrt{U_c^2 - U_n^2 \cos^2(\psi + \delta)} - U_n \sin(\psi + \delta). \quad (10)$$

Расширяя значение поправки δ , можно выражение (10) рассматривать как общую и основную формулу, определяющую напряжение на балласте при любом соотношении реактивного и активного сопротивлений.

В формуле (10) присутствует еще угол ψ , для определения которого необходимо рассмотреть его компоненты. Согласно условиям (3) и (7),

$$\psi = \alpha_1 + \beta_1 - \phi_0$$

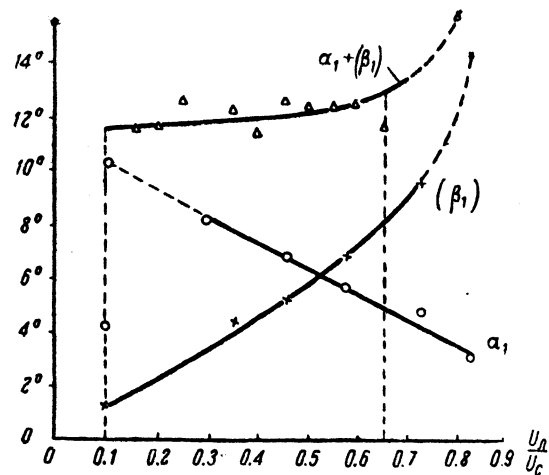


Рис. 5. Изменение углов α_1 и β_1 и их суммы в зависимости от отношения $\frac{U_n}{U_c}$ для схемы лампы Игар-2 с дросселем

и

$$\phi_0 = \varphi - \psi_1 - \arccos [p \cos(\varphi - \psi_1)]. \quad (11)$$

Укажем методические приемы исследования составляющих угла ϕ .

Упрощаем кривую напряжения U_n , приняв ее за трапецию, у которой большая из параллельных сторон равна потенциалу U_z зажигания и другая — потенциалу U_x потухания.

Выражение для угла α_1 сдвига основной синусоиды будет:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{2}{\pi} \left[1 - \frac{2}{\frac{U_z}{U_x} + 1} \right]. \quad (12)$$

Осциллограммы показывают, что с повышением напряжения на лампе отношение $\frac{U_z}{U_x}$ уменьшается. Как нетрудно видеть из выражения (12), при уменьшении $\frac{U_z}{U_x}$ значение α_1 также уменьшается.

Количественное изменение угла α_1 для схемы лампы Игар-2 с дросселем было определено путем разложения в ряды Фурье различных кривых напряжений U_n , взятых из осциллограмм. Экспериментальные точки в большом интервале располагаются по прямой (рис. 5), показывающей линейное уменьшение угла α_1 с возрастанием напряжения на лампе.

Если для упрощения принять кривую тока треугольной формы, то сдвиг фазы β_1 основной волны определится из выражения:

$$\tan \beta_1 = \frac{2\theta - \pi \sin \theta}{\pi \cos \theta}, \quad (13)$$

где θ — угол смещения амплитуды от середины полупериода.

При малых смещениях $\theta \approx \sin \theta$ и

$$\tan \beta_1 \approx -0,363 \tan \theta. \quad (14)$$

При малых значениях напряжения на лампе кривые тока имеют почти симметричную форму и, следовательно, угол θ близок к нулю. По мере возрастания напряжения U_n угол θ увеличивается. Выражение (14) показывает, что угол β_1 остается все время отрицательным и по абсолютной величине растет по мере увеличения напряжения на лампе.

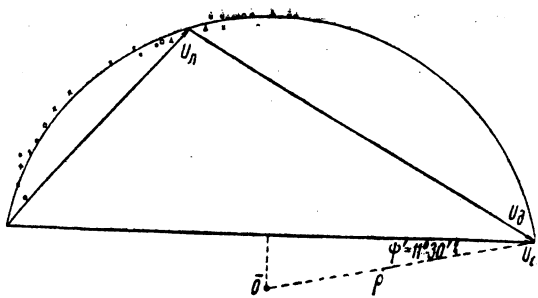


Рис. 6. Диаграмма и экспериментальные точки для различных типов ртутных ламп с индуктивным балластным сопротивлением

Для разбираемой схемы лампы Игар-2 с дросселем значения угла β_1 определены при помощи гармонического анализа кривых тока и показаны на рис. 5.

Угол ϕ_0 , вычисленный по значениям $\cos(\varphi - \phi_1)$ и $\cos(\varphi - \psi)$ обычно мал и, в первом приближении, им можно пренебречь. Для схем с дроссельными катушками порядок ϕ_0 и δ близок, поэтому можно считать

$$\phi + \delta \approx \phi_1.$$

Как видно из рис. 5; угол ϕ_1 , равный сумме абсолютных значений углов α и β , в широком диапазоне изменений $\frac{U_L}{U_c}$ очень мало меняется. Условия стабильного режима дуги не позволяют выбирать отношение $\frac{U_L}{U_c}$ больше 0,65, и поэтому можно считать угол ϕ_1 постоянным. Это подкрепляется еще вычислениями угла ϕ_1 , по эффективным значениям напряжений контура.

Если считать ϕ и $\phi + \delta$ постоянными при всех изменениях напряжения на лампе, то и углы $\angle Oba$ и $\angle Oba_1$ (рис. 4) также постоянны, следовательно, точка b треугольников движется по окружности. Радиус ρ окружности диаграммы, как нетрудно видеть из геометрического построения, в общем виде будет:

$$\rho = \frac{U_c}{2 \cdot \cos(\phi + \delta)} = \frac{U_c}{2 \cdot \cos(\phi + \arctg \frac{r}{\omega L})}. \quad (15)$$

Угол $\phi' = \phi + \delta$ назовем углом диаграммы.

В системе прямоугольных координат, в которых вектор U_c принимается за ось абсцисс, а положительные значения ординат идут в направлении, обратном вектору тока, координаты центра O окружности диаграммы будут:

$$\left[\frac{U_c}{2}, \frac{U_c}{2} \operatorname{tg}(\phi + \delta) \right].$$

О том, в какой мере приведенный анализ и выведенные из него диаграммы отвечают экспериментальным измерениям, можно судить по диаграмме рис. 6, на которой нанесены точки, полученные из измерений различных типов ртутных ламп (Игар-1—2—3—4, СВД-80, 125 и др.).

Приведенные выше данные позволяют считать диаграммы, построенные по уравнению (8), аналогами векторных диаграмм для контура с газосветной лампой. Эта аналогия усиливается еще тем обстоятельством, что вычисление $\cos \varphi$ по углу φ , взятому из диаграммы, равно действительному коэффициенту мощности, определяемому по измеренным эффективным значениям мощности, напряжения и силы тока.

С точки зрения примененного метода анализа представляет интерес рассмотрение углов между векторами.

Вычисленные $\cos \bar{\varphi}$ и $\cos \bar{\xi}$ по углам $\bar{\varphi}$ и $\bar{\xi}$, взятым из осциллограммы, заметно отклоняются от значений, вычисленных по эффективным величинам, согласно формулам:

$$\cos \varphi = \frac{P_c}{U_c I} \quad \text{и} \quad \cos \xi = \cos \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) = \frac{P_L}{U_L I}.$$

В практике нас интересуют действующие углы диаграммы, которые позволяют вычислять эффективные электрические величины. Условимся углы φ , ξ и ϕ называть эффективными углами в отличие от $\bar{\varphi}$, $\bar{\xi}$ и $\bar{\phi}$, получаемых из осциллограмм.

Из основных положений, принятых в анализе, следует, что

$$\varphi = \bar{\varphi} + \beta_1; \quad \xi = \bar{\xi} + \beta_1 + \gamma_1. \quad (16)$$

где γ_1 — сдвиг основной волны напряжения на дросселе.

Определение эффективных углов по формулам (16) хорошо согласуется с экспериментом, в то время как ошибка для углов $\bar{\xi}$ и $\bar{\varphi}$ доходит, соответственно, до 29 и 46% при значении $\frac{U_L}{U_c} = 0,83$.

Когда лампа включена последовательно с активным сопротивлением ($\delta = 90^\circ$, $\varphi = \beta_1$), напряжение на омическом сопротивлении

$$U_R = \sqrt{U_c^2 - U_L^2 \sin^2 \psi} - U_L \cos \psi. \quad (17)$$

Достаточное для практики совпадение расчета, вытекающего из анализа, с экспериментальными данными, позволяет для любого соотношения активного и реактивного сопротивлений в приборе включения лампы построить для положительного угла ϕ обобщенную диаграмму. Способ ее построения ясен из изложенного.

Анализ работы контура газосветной лампы. Для выяснения условий работы основного контура газосветной лампы необходимо знать действующие напряжения на его элементах, мощность их, силу тока в цепи, характеристику балластного сопротивления и влияние этого сопротивления на электрический режим, а также производные параметры-коэффициенты мощности схемы и лампы.

В предшествующем разделе была выведена основная зависимость между действующими в схеме напряжениями. Подвергнем эту зависимость дальнейшему анализу и рассмотрим другие электрические параметры схемы.

Уравнение (10) при $U_c = \text{const}$ можно рассматривать как функцию $U_0 = f(U_L)$. Дважды дифференцируя его по U_L , можно найти, что максимум напряжения на балласте будет при условии $U_L = -U_c \operatorname{tg} \phi'$ и имеет место только при отрицательном угле ϕ' , иначе говоря, для схемы с индуктивным балластом. Максимум напряжения будет

$\frac{U_c}{\cos \phi'} = 2\rho$. Падающая вольтамперная характеристика дугового разряда, как уже указывалось, обуславливает тот факт, что сила тока ограничивается только балластным сопротивлением.

При включении дросселя с газосветной лампой напряжение на нем искажено. Оно может быть выражено рядом:

$$u_0 = U_{01m} \sin \omega t + U_{03m} \sin (3\omega t + \gamma_3) + \dots \quad (18)$$

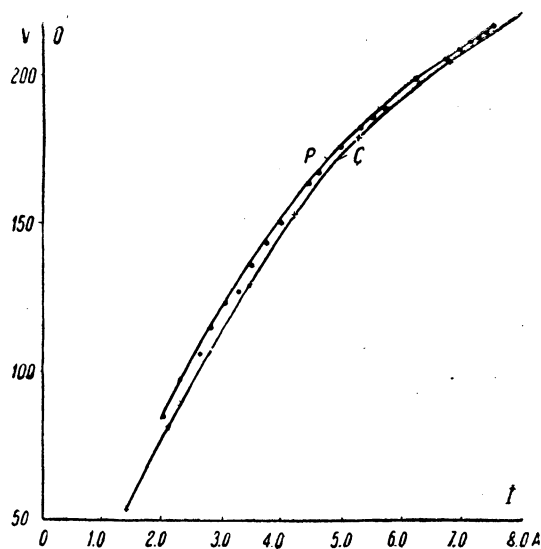


Рис. 7. Собственная c и рабочая P вольтамперные характеристики дросселя ДБ 0,5/0,22 броневое типа для номинального напряжения $U_c = 220$ В

Реактивное сопротивление дросселя при работе его с лампой

$$x_L = \frac{U_d}{I_L} = \omega L \frac{\sqrt{U_{d1}^2 + U_{d3}^2 + U_{d5}^2 + \dots}}{\sqrt{U_{d1}^2 + \frac{1}{9} U_{d3}^2 + \frac{1}{25} U_{d5}^2 + \dots}} > \omega L, \quad (19)$$

т. е. сопротивление дросселя при его работе с лампой больше того значения, которое соответствует синусоидальному напряжению.

Определяя значение x_L при различных напряжениях и токе, можно построить вольтамперную характеристику дросселя (рабочую характеристику) при включении его с газосветной лампой.

На рис. 7 показаны рабочая и собственная характеристики дросселя ДБ 0,5/0,22 броневое типа для ламп Игар-2.

Полное сопротивление прибора включения, состоящего из дросселя или омического сопротивления, с достаточной для практики точностью, может быть выражено простым нижеследующим уравнением:

$$Z = Z_0 + nI, \quad (20)$$

где Z_0 — некоторое „нулевое сопротивление“, n — коэффициент, находимый опытным путем, и I — ток контура.

Для индуктивного баласта $n < 0$, для неизменного омического сопротивления $n = 0$ и для такого баласта, например, как лампы накаливания, сопротивление которого сильно зависит от температуры, — $n > 0$.

От выражения (20) легко перейти к уравнению рабочей вольтамперной характеристики:

$$U_6 = Z_0 I + nI^2. \quad (21)$$

Надо иметь в виду, что нулевое сопротивление Z_0 имеет физический смысл только при чисто омическом постоянном баласте, когда $Z = Z_0 = R$. В других случаях наличие Z_0 и n ограничивают пределы анализа математических выражений, в которые они входят.

Решая уравнение (22) относительно I и учиты-

вая физический смысл выражения, получим

$$I = \frac{\sqrt{Z_0^2 + 4nU_6} - Z_0}{2n}. \quad (2)$$

Подставив в (22) значение U_6 по формуле (10) можно исследовать изменение тока контура в зависимости от напряжения на лампе.

На основании предыдущего можно написать выражение для мощности P_L лампы в следующем виде:

$$P_L = k_L U_L I = \frac{k_L U_L}{Z} [\sqrt{U_c^2 - U_L^2 \cos^2 \psi'} - U_L \sin \psi'], \quad (23)$$

где k_L — коэффициент мощности лампы.

Дифференцируя (23), найдем, что при $Z = \text{const}$ и $U_c = \text{const}$ лампа имеет максимум мощности который достигается при напряжении на лампе

$$U_L = \frac{U_c}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{1 + \sin(\psi + \delta)}}. \quad (24)$$

Вводя параметры прибора включения и исключая I из выражения мощности, получим:

$$P_L = \frac{k_L U_L}{2n} [\sqrt{Z_0^2 + 4n(\sqrt{U_c^2 - U_L^2 \cos^2 \psi'} - U_L \sin \psi')} - Z_0]. \quad (25)$$

На рис. 8 представлена кривая, построенная по уравнению (23), и нанесены экспериментальные точки для схемы лампы Игар-2 с броневым дросселем.

Для определения влияния колебаний напряжения сети на мощность лампы при заданном ее напряжении U_L , дифференцируем формулу (25), почленно делим на выражение мощности и после некоторых преобразований приходим к следующему результату:

$$\frac{\partial P_L}{P_L} = \lambda \frac{\partial U_c}{U_c}, \quad (26)$$

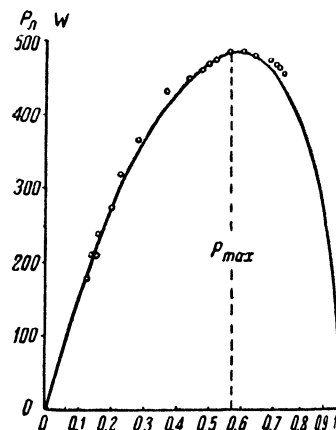
где

$$\lambda = \frac{1 + \sqrt{Z_0^2 + 4nU_6}}{1 + \frac{U_6^2 - U_L^2}{U_c^2}}. \quad (27)$$

При прямолинейной характеристике прибор включения выражение (27) упрощается:

$$\lambda = \frac{2}{1 + \frac{U_6^2 - U_L^2}{U_c^2}}. \quad (28)$$

Рис. 8. Кривая мощности лампы Игар-2 в зависимости от $\frac{U_L}{U_c}$ для схемы с броневым дросселем (ДБ)



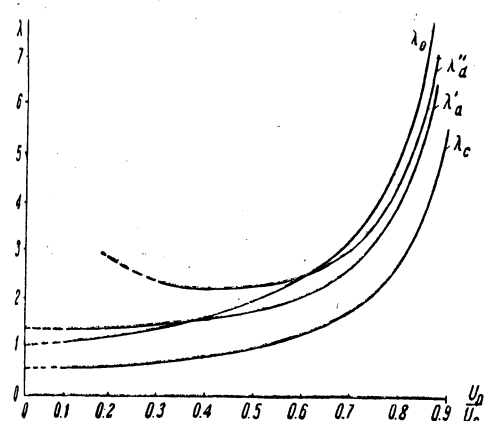


Рис. 9. Кривые изменения коэффициентов λ_0 , λ'_a и λ_c в зависимости от отношения $\frac{U_a}{U_c}$. λ_0 — для схемы с постоянным омическим сопротивлением ($n=0$), λ'_a и λ''_c для схем с дросселями Д и ДБ ($n<0$) и λ_c — для схемы с лампами накаливания ($n>0$)

Практически уравнение (26) можно трактовать как зависимость процентного изменения мощности лампы в зависимости от процентного отклонения напряжения сети

$$\frac{\Delta P_a}{P_a} = \lambda \frac{\Delta U_c}{U_c}$$

На рис. 9 показаны кривые λ для различных схем включения. Кривые наглядно показывают, что чем больше крутизна вольтамперной характеристики прибора включения, тем меньше колебания мощности лампы при одном и том же изменении напряжения сети. Кроме этого, кривые дают возможность выбора наиболее целесообразного для эксплуатации отношения $\frac{U_a}{U_c}$.

В таблице приведены некоторые данные экспериментальной проверки формулы.

Изменение мощности ламп Игар-2 при использовании различных приборов включения в зависимости от колебаний напряжения сети

Из м е р е н и я									Расчет значение λ по кривым рис. 9
$\frac{U_A}{U_C}$	напряжение U_C сети		ΔU_C	U_A	мощность P_A лампы		ΔP	$\frac{\Delta P_A}{\Delta U}$	
	V	%	%	V	W	%	%	$\lambda =$	
Лампа Игар-2 с омическим сопротивлением									λ_0
0,5	228	95	-5	113,5	450	90	-10	2	1,9
0,47	240	100	—	112,3	500	100	—	—	1,8
0,44	252	105	+5	111,5	440	110	+10	2	1,75
Лампа Игар-2 с дросселем (ДБ) броневового типа									λ''_a
0,695	190	95	-5	132	350	87,5	-12,5	2,5	2,7
0,65	200	100	—	130	400	100	—	—	2,65
0,615	210	105	+5	129	455	113,5	+13,5	2,7	2,6
Лампа Игар-2 с балластом-лампами накаливания									λ_c
0,62	209	95	-5	125	465	92	-8	1,6	1,4
0,58	220	100	—	127,5	505	100	—	—	1,25
0,55	231	105	+5	127,5	540	107	+7	1,4	1,15

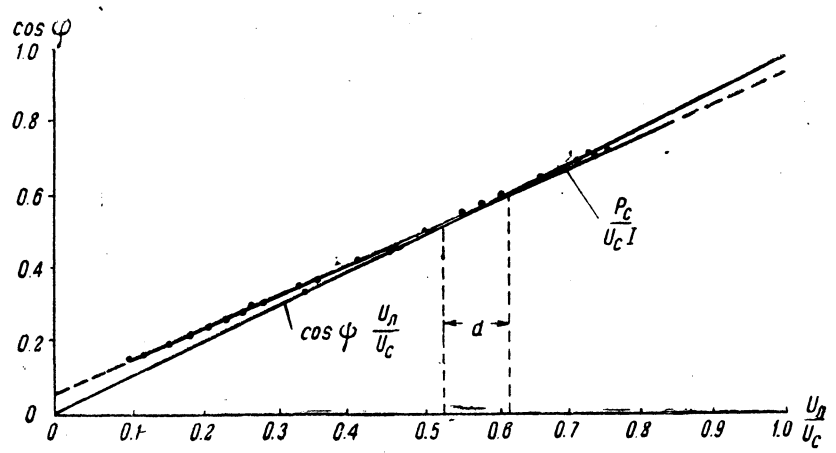


Рис. 10. Изменения коэффициента мощности схемы лампы Игар-2 с броневым дросселем ДБ в зависимости от $\frac{U_a}{U_c}$

Уравнение (10) позволяет определить вольтамперную характеристику такого дросселя, который обеспечит постоянство мощности ламп независимо от напряжения. Крутизна такого дросселя должна отвечать следующему условию:

$$\frac{dU_a}{dI} = \frac{U_a (U_a + U_a \sin \psi_1)}{I (U_a + U_a \sin \psi_1)} \quad (29)$$

Практически можно говорить лишь о небольшом участке вольтамперной кривой, крутизна которой удовлетворяет формуле (29). Экспериментально нетрудно построить дроссель, обеспечивающий постоянство мощности лампы с точностью до 3—4% при разбросе напряжения на лампах в пределах 20—30 В (при питании от сети 220 В).

Из формулы (8) можно получить общее выражение для коэффициента мощности схемы¹. В практически ценном частном случае, когда $\delta=0$ (рис. 4), $\cos \varphi = \frac{U_a \cos \psi}{U_c}$.

Пригодность формулы для случая схем с дросселями, потери которых обычно невелики, подтверждается экспериментальными данными, показанными на рис. 10, где одновременно построена прямая, отображающая рекомендуемую формулу. В наиболее интересном для анализа пределе d допусков напряжения (на рис. 10 показаны допуски для ламп типа Игар) расчетная кривая и экспериментальные данные практически совпадают.

Искажение кривых напряжения на лампе и силы тока приводит к тому, что произведение кажущейся мощности лампы не равно мощности, измеренной ваттметром. Отсюда рождается понятие коэффициента мощности лампы, обозначаемого иногда в виде косинуса некоторого угла.

Определение коэффициента мощности позволяет написать следующее выражение:

$$k_n = \frac{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi u_a i d\omega t}{\sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi u_a^2 d\omega t \cdot \frac{1}{\pi} \int_0^\pi i^2 d\omega t}} \quad (30)$$

¹ Строго говоря, коэффициент мощности схемы из-за нелинейности кривых нельзя выразить тригонометрической функцией, однако использование выражения $\cos \varphi$ представляет удобство для различных расчетов и не ведет к сколь-нибудь значительным ошибкам.

Подставляя (13) в (8), после элементарных преобразований, получаем:

$$R_x = \frac{R_1}{R_{a_3}} [R_{a_2} - A(R_{a_2} - R''_{a_2})], \quad (14)$$

где

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}, \quad (15)$$

$$\Delta_1 = [(\alpha_I - \beta_I) + (\alpha_{II} - \beta_{II}) M_1], \quad (16)$$

$$\Delta_2 = -[(\alpha'_I - \beta'_I) M_2 + (\alpha'_{II} - \beta'_{II}) M_3], \quad (17)$$

$$M_1 = \frac{N_{II}}{N_I}; \quad M_2 = \frac{N'_I}{N_I} \quad \text{и} \quad M_3 = \frac{N'_{II}}{N_I}. \quad (18)$$

С целью упрощения формул (14)–(18) воспользуемся известным критерием ничтожных погрешностей [7]. Предварительно заменим сокращенные обозначения формул (14)–(18) путем подстановки в них (3), (4), (11), (12) и (1). Далее пусть $|dR_2|$, $|dR_3|$ и $|dR'|$ представляют модули абсолютных погрешностей R_2 , R_3 и R' , входящих в формулу (14). Соответственно $|dR_2|_M$, $|dR_3|_M$ и $|dR_g|_M$ модули абсолютных погрешностей R_2 , R_3 и R' , входящих в формулы (18). В таком случае, если сделать

$$\left. \begin{aligned} r'_3 &\leq 0,4 |dR_2|, \quad r'_4 \leq 0,4 |dR_3|, \quad r'_7 \leq 0,4 |dR'|, \\ R_1 + r'_4 &\leq 0,4 |dR_3|_M, \quad r'_5 \leq 0,4 |dR_g|_M \geq r'_6, \\ R_x + (R_2 - R''_{a_2}) + r'_3 &\leq 0,4 |dR_2|_M \geq r'_2 + r_1 + r'_1. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

то, основываясь на критерии ничтожных погрешностей, можно пренебречь величинами: r'_3 , r'_4 и r'_7 в формуле (14) и r'_1 , r'_2 , r'_3 , r'_4 , r'_5 , r'_6 , R_1 , R_x и $(R_2 - R''_{a_2})$ в формулах (18), без заметного увеличения погрешности измерения R_x . В результате получается формула определения R_x , удобная для практического применения, а именно:

$$R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3} \left[1 - A \frac{R_2}{R_2 + R'} \right], \quad (20)$$

где, в свою очередь:

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}, \quad (21)$$

$$\Delta_1 = [(\alpha_I - \beta_I) + (\alpha_{II} - \beta_{II}) M], \quad (22)$$

$$\Delta_2 = -[(\alpha'_I - \beta'_I) + (\alpha'_{II} - \beta'_{II}) M], \quad (23)$$

$$M = \frac{R_2 [R_g (R_3 + R_2 + r_2) + R_3 (R_2 + r_2)]}{R_3 [R_g (R_3 + R_2 + r_2) + R_2 (R_3 + r_2)]}. \quad (24)$$

Случай 2. Совершенно аналогично получаем:

$$II \left\{ R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3} \cdot \frac{1}{\left[1 - A \frac{R_3}{R_3 + R''} \right]}, \quad (25) \right.$$

где A соответствует (21)–(24).

Легко показать, что требование перемены знака функции a эквивалентно требованию наличия у Δ_1 и Δ_2 [см. (22) и (23)] противоположных знаков, так что на практике величина R' или R'' должна быть подобрана такой, чтобы удовлетворилось это последнее условие.

Пусть заданная величина вероятной погрешности результата есть $\frac{dR_x}{R_x}$. Пользуясь законом накопления средних погрешностей, получаем требуемые значения погрешностей отдельных параметров, входящих в формулы I и II:

$$\left| \frac{dR_I}{R_I} \right| \leq 0,3 \left| \frac{dR_x}{R_x} \right|, \quad (26)$$

$$\left| \frac{dR'}{R'} \right| \leq 0,3 \frac{m_1}{A} \cdot \left| \frac{dR_x}{R_x} \right| \geq \left| \frac{dR''}{R''} \right|, \quad (27)$$

$$N_I = \frac{R_{a_3}}{R_{a_3} + R_{a_2} + r_{a_2}} \cdot \frac{k}{I_0} [R_{gI} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_x + R_{a_2}) (r_{a_1} + r_{a_2} + R_1 + R_{a_3})], \quad (3)$$

$$N_{II} = \frac{R_{a_2}}{R_{a_3} + R_{a_2} + r_{a_2}} \cdot \frac{k}{I_0} [R_{gII} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_1 + R_{a_3}) (R_x + r_{a_1} + r_{a_2} + R_{a_2})]. \quad (4)$$

C_1 — некоторое выражение, учитывающее влияние термополюсов. Для устранения неопределенного выражения C_1 , учитывающего влияние термополюсов, меняем направление тока I_0 , тогда:

$$R_1 R_{a_2} - R_x R_{a_3} = -\beta_I N_I - \beta_{II} N_{II} - C_1. \quad (5)$$

Среднее арифметическое (2) и (5) будет иметь вид:

$$R_1 R_{a_2} - R_x R_{a_3} = a_1, \quad (6)$$

$$a_1 = 0,5 [(\alpha_I - \beta_I) N_I + (\alpha_{II} - \beta_{II}) N_{II}] \quad (7)$$

же не содержит неопределенного выражения C_1 . Легко показать, что путем регулировки плеча R_{a_2} или R_{a_3} можно найти такие их значения, при которых правая часть выражения (6) оказывается равной нулю.

Обозначим соответствующие этому случаю значения плеч R'_{a_2} или R'_{a_3} . В таком случае очевидно:

$$R'_x = \frac{R_1 R'_{a_2}}{R_{a_3}} \quad \text{или} \quad R_x = \frac{R_1 R_{a_2}}{R'_{a_3}}. \quad (8)$$

Таким образом задача сводится к нахождению значений плеч R'_{a_2} или R'_{a_3} . Непосредственно, экспериментальным путем (регулировкой), найти требуемое значение плеча весьма трудно. Приходится прибегнуть к следующему косвенному пути.

Математически задача сводится к нахождению значения аргумента по заданному нулевому значению функции. Это есть задача, известная в теории интерполяции [6] под названием обратного интерполирования. Решение этой задачи возможно, если известны значения функции для значений аргументов, лежащих по обе стороны от искомого. Одно из требуемых значений дается формулой (6). Для получения другого значения функции включаем интерполяционное сопротивление R' или R'' такой величины, которое меняет знак функции a .

В зависимости от соотношения между R_{a_2} , R_1 , R_2 и R_{a_3} могут встретиться два случая.

Случай 1. Для перемены знака a должно быть $R' \neq \infty$ или $R'' = \infty$. Повторяя перечисленные выше операции, т. е. аналогично выражению (6), получаем требуемое второе значение функции:

$$R_1 R''_{a_2} - R_x R_{a_3} = -a_2, \quad (9)$$

$$a_2 = -0,5 [(\alpha'_I - \beta'_I) N'_I + (\alpha'_{II} - \beta'_{II}) N'_{II}], \quad (10)$$

$$N'_I = \frac{R_{a_3}}{R_{a_3} + R''_{a_2} + r_{a_2}} \times \frac{k}{I_0} [R_{gI} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R''_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_x + R''_{a_2}) (r_{a_1} + r_{a_2} + R_1 + R_{a_3})], \quad (11)$$

$$N'_{II} = \frac{R''_{a_2}}{R_{a_3} + R''_{a_2} + r_{a_2}} \times \frac{k}{I_0} [R_{gII} (R_1 + r_{a_1} + R_x + R''_{a_2} + R_{a_3} + r_{a_2}) + (R_1 + R_{a_3}) (R_x + r_{a_1} + r_{a_2} + R''_{a_2})]. \quad (12)$$

Это позволяет воспользоваться интерполяционной формулой Лагранжа, которая дает:

$$R'_{a_2} = \left[R_{a_2} - \frac{a_1}{a_1 + a_2} (R_{a_2} - R''_{a_2}) \right]. \quad (13)$$

проводов отложение односторонней изморози на прово-
х контактной сети и связи и на семафорных тросах.
Такого же характера изморозь наблюдалась и на про-
льных оттяжках из стального троса. Изморозь держ-
сь на тросах крепко, удары рукой по оттяжке не могли
сбить. Аналогичного строения изморозь наблюдалась и
контактной подвеске и на усиливающем проводе. При про-
де электровоза изморозь с контактного провода сброшена не
а, и, повидимому, совсем не была задета лыжей панто-
фа.

Отдельные случаи пляски проводов тяжело отражаются
движении поездов. Повторные случаи пляски проводов
дут к авариям сети.

Анализ явления пляски проводов. Многочисленные наблю-
ния показывают на большое многообразие явления пляски
проводов.

Частота качаний контактной подвески совпадает в общем
ее собственным периодом колебаний.

В табл. 1 приведены данные измерений собственного пе-
рда колебаний полукомпенсированной подвески, состоящей
стального несущего троса сечением 70 мм² и контакт-
го провода сечением 100 мм².

Число собственных колебаний контактной подвески для
личных пролетов, при одной полуволне в пролете.

Таблица 1

Длина пролета m	81	75	70,15	50,24
измеренное число колебаний в минуту	39,2	40,8	44,4	58,2
рчисленное число колебаний в минуту	38,9	42	45	63

Данные табл. 1 показывают, что при пляске проводов мы
ем дело с резонансным явлением. Амплитуды колебания
тигают значительных величин тогда, когда несколько
едных пролетов обладают одинаковой собственной частот-
, что может иметь место либо при одинаковой их дли-
и линейной нагрузке, либо при разной длине и неодина-
й линейной нагрузке.

аболее благоприятствует возникновению пляски прово-
одностороннее отложение гололеда, причем безразлич-
с наветренной или с подветренной стороны. Этот вывод
тверждается и опытами, описанными в статье А. Е. Davi-
[3].

о эти опыты недостаточно убедительно объясняют при-
и возникновения пляски проводов в отсутствие гололеда
ее усиления после сбития гололеда (что наблюдалось).
ория показывает, что скорость распространения попе-
ой волны вдоль провода определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{T}{m}} = \sqrt{\frac{Tg}{p}} \tag{1}$$

T—тяжение в проводе; m—масса 1 пог. единицы про-
g—ускорение силы тяжести.
другой стороны

$$v = 2\lambda f, \tag{2}$$

f—частота колебаний; λ —длина полуволны.
пляске проводов во многих случаях в пролете дли-
укладывается одна полуволна. Применяв формулы (1)
и положив $2\lambda = 2L$, находим

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{Tg}{p}}. \tag{3}$$

ериментальная проверка показывает, что при разборе
й пляски проводов можно с полной уверенностью
ваться для вывода некоторых заключений формулами
и (3). Так например, в табл. 1 приведены вычислен-
формуле (3) частоты колебаний, величины которых
мно хорошо совпадают с измеренными.

ультате рассмотрения явления пляски проводов мож-
т к следующему общему заключению.

возникновения и поддержания пляски проводов, не-
ю наличие периодически возникающих сил, причем
изменения этих сил определяется периодом собствен-
ебаний провода. Доказывается это тем обстоятель-
то при всех прочих равных условиях, возбуждаю-

щих пляску проводов, резонансные колебания имеют место
одновременно в пролетах различной длины, собственные ча-
стоты колебаний провода в которых заведомо разнятся.

Мероприятия по борьбе с пляской проводов. В условиях
линий передачи борьба с пляской проводов может быть огра-
ничена повышением расстоияния между проводами и увеличе-
нием механической прочности. В условиях же контактной
сети эти меры не решают основного вопроса, а именно, соз-
дания надежного токоснимания.

Мероприятия по борьбе с пляской контактной сети могут
быть классифицированы следующим образом:

1. Мероприятия, направленные к устранению явления
пляски. Удаление гололеда с проводов. Линейные работни-
ки указывают, что после обивки гололеда с контактного
провода и частично с несущего троса в большинстве слу-
чаев пляска прекращалась. Способ удаления гололеда — уда-
ры деревянными палками по проводам. Более эффективным
является способ оплавления гололеда электрическим током.
Опыты, проведенные авторами, показали возможность нагр-
вания сети до достаточной температуры токами к. з. Корот-
кое замыкание сети при этих опытах осуществлялось на од-
ной тяговой подстанции, питание «закороченного» участка
производилось с соседней подстанции.

Стальной несущий трос токами к. з. почти не нагревается.
Поэтому ожидать оплавления гололеда с него нет оснований.
Но, надо полагать, одно лишь изменение условий нагрузки,
которое произойдет при сбросе гололеда с контактного про-
вода, будет достаточно, чтобы приостановить пляску контакт-
ной подвески. Это предположение подтверждается и линей-
ными работниками.

Древесные насаждения. Древесные насаждения вдоль
пути на открытых участках должны значительно изменить
ветровые условия. Отмеченные на некоторых дорогах факты
временного прекращения пляски над проходящим подвижным
составом показывают, что сооружение преград для ветра
может иметь существенное влияние на пляску проводов.

2. Мероприятия, ослабляющие интенсивность пляски. Пере-
разбивка пролетов контактной сети (устранение прилегания
друг к другу пролетов равной длины). Этим способом
можно вывести из резонанса колебания проводов в двух
соседних пролетах, что сразу ведет к уменьшению амплитуд
в обоих пролетах.

Переразбивка пролетов контактной сети проведена частично
на одной из наших дорог. Эффективность этого мероприятия
недостаточна: в случае переразбивки пролетов пляска все же
имеет место.

Аналогичным мероприятием является и установка фикси-
рующих поперечников, с обязательным условием, чтобы они
не делили пролета на равные части. Установка подобных
фиксирующих поперечников была проведена на небольшом
участке дорог СССР. Аналогичный способ применен в одном
случае длинных пролетов и германскими государственными
железными дорогами [1]. Надо ожидать, что фиксирующие
поперечники, вследствие введения неизбежной эластичности
в закреплении троса и контактного провода, будут менее эф-
фективны, чем переразбивка пролетов.

Увеличение массы проводов в пролете, путем подвешива-
ния на них грузов. Это мероприятие аналогично описан-
ному выше и имеет целью уничтожить резонанс соседних
пролетов. Развешивая грузы через пролет, можно нарушить
вредный резонанс. Случаи успокоения пляски на проводах
линий передачи путем подвешивания грузов на вершинах волн
указывает ирландский инженер Р. W. Sothman [4].

Это мероприятие приблизительно равноценно переразбивке
пролетов и вместе с тем должно стоить значительно де-
шевле.

При подвеске грузов, как следует из расчетов, можно изме-
нить частоты колебаний двух соседних пролетов на мень-
шую величину, чем при изменении длин пролетов.

3. Мероприятия, защищающие провода от повреждения
во время пляски. Для предохранения несущих тросов и
усиливающих проводов от изломов в моменты пляски мож-
но установить на участках проводов, где наблюдается
пляска демфера пассивного действия.

Одновременно на всех участках, подверженных пляске, где
усиливающий провод крепится на штыревых изоляторах, сле-
дует заменить штыревые изоляторы подвесными.

В заключение надо подчеркнуть, что явление пляски про-
водов требует дальнейшей научной разработки для выяснения
механизма возникновения колебаний и эффективности различ-
ных защитных мероприятий.

Литература

1. W. Reichel, Massnahmen zur Verhütung von Schwingun-
gen in Fahrleitungskettenwerk mit grossen Spannweite. El.
Bahnen, стр. 80, № 3, 1935.

2. П. К. Полоневич, Пляска проводов. Электрические станции, стр. 38, № 12, 1937.

3. A. E. Davison, Dancing conductors. J. AIEE, стр. 538, т. 49, № 7, 1930.

4. W. K. Archbold, Dancing cables affect service. El. World, т. 93, стр. 199, № 4, 1929.

5. Th. Varney, Notes on the vibration of transmissionline conductors. J. AIEE V. 45, стр. 953, № 10, 1926.

6. H. Leboutoux, Contribution à l'étude des vibrations dans les conducteurs aériens et description d'un dispositif amortisseur. Rev. Gen. d'Electr., т. 30, стр. 241, № 7, 1931.

7. E. W. W. Double, W. D. Tuck. Vibration of overhead line conductors. J. IEE V. 86, стр. 129, № 518, 1940.

Определение потерь напряжения в контактной сети с учетом проводимости грунта

К. Г. МАРКВАРДТ

Московский энергетический институт им. Молотова

Главная особенность и трудность электрического расчета контактной сети заключается в необходимости учитывать соединение рельсов с землей и, следовательно, уменьшение общего падения напряжения от подстанции до нагрузки. В контактной сети переменного тока, т. е. в том случае, когда приходится при определении падений и потерь напряжений учитывать явление взаимной индукции, необходимо знать токи, протекающие в проводах и рельсах, а следовательно, приходится здесь учитывать и распределение тока между рельсами и землей.

При решении же указанной задачи необходимо заранее условиться о схеме расположения нагрузок на участке между подстанциями и за их пределами, так как в зависимости от этого расположения мы будем приходить к тому или иному частному случаю.

При выборе расчетной схемы следует иметь в виду, что в эксплуатации могут иметь место самые разнообразные расположения нагрузок, что вносит некоторую неопределенность при выводе расчетных формул. Однако можно получить большую определенность расчета, если учитывать, что почти во всех случаях тяговая сеть рассчитывается для часов наиболее интенсивного движения на участке.

Учитывая к тому же, что в большинстве случаев электрифицируются участки с густым движением, можно прийти к выводу, что для определения потери и падения напряжения (среднего или мгновенного) в рельсовой цепи следует принять схему, предполагающую загрузку рассматриваемого и соседних участков рядом нагрузок.

В этом случае эффект уменьшения падений напряжения за счет протекания токов по земле снижается, так как утечка тока рассматриваемого участка с участков, лежащих за пределами рассматриваемого, или уменьшается, или, при симметричном нагружении участков, вовсе перестает иметь место.

Таким образом при постоянном токе можно получить уверенность в том, что если в действительности утечка с соседних участков будет иметь место, то расчет даст некоторый запас, так как расчетное падение напряжения получится несколько более высоким (при прочих равных условиях).

При переменном же токе некоторую неопределенность вносит то обстоятельство, что с уменьшением тока в рельсах, с одной стороны, уменьшается падение напряжения в рельсах, а с другой — увеличивается э. д. с. индукции в контактном проводе, увеличивающая общее падение напряжения в нем.

Но не подлежит сомнению, что увеличение проводимости рельсового пути за счет утечки тока в грунт с участков, лежащих за пределами рассматриваемого, поведет к уменьшению активной составляющей потери напряжения.

Это легко видеть из того, что такое ответвление тока с крайних участков равносильно тому, как если бы к рельсам был бы присоединен дополнительно параллельный провод. Не может вызвать сомнений, как указано выше, и то, что наибольшие значения падений и потерь напряжения как мгновенных, так и средних будут иметь место в часы наиболее интенсивного движения, т. е. при наибольшей нагрузке всех участков.

Таким образом, на основе изложенного, можно прийти к выводу о необходимости при расчетах рельсовой цепи учитывать наличие нагрузок на всех участках.

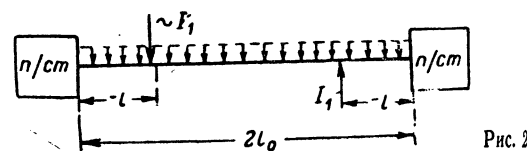
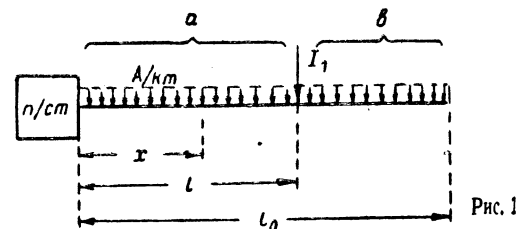
Но осуществление такого расчета для ряда сосредоточенных нагрузок на участке связано с большими трудностями.

Кроме того, при исчислении различных средних значений в течение времени, очевидно, поправку, учитывающую протекание тока по земле, можно вывести для некоторой средней — эквивалентной схемы нагрузок.

Сложность точного расчета определяется, главным образом тем, что трудно учесть, как изменится эффект от утечки для какой-либо нагрузки на участке при появлении на участке новой нагрузки. Тем более усложняется эта задача, если учитывать еще и изменение нагрузки на смежных участках.

Для упрощения вывода расчетных формул представляется возможным, при определении падения напряжения на рассматриваемом участке для какой-либо нагрузки, остальные нагрузки на участке заменить равномерно распределенной нагрузкой.

Некоторым подтверждением допустимости такой замены может явиться сходность эпюры падений напряжения равномерно распределенной нагрузки с эпюрой от сосредоточенных нагрузок, если число их не менее трех.



С другой стороны, возможно различие в интенсивности нагрузок на смежных участках, при различной их длине. Учет этого явления также внесет значительные усложнения в формулы. Однако и здесь возможно значительное упрощение, если принять к расчету равные расстояния между подстанциями, при одинаковой интенсивности нагрузки всех участков. Оправданием такому допущению может служить то соображение, что на магистральных дорогах, движение на смежных участках имеет, примерно, одинаковую интенсивность, расстояния между подстанциями стремятся иметь примерно одинаковыми. На участках же, где интенсивность движения различна, обычно на участке с большей интенсивностью расстояние между подстанциями меньше наоборот.

Таким образом, за счет большой интенсивности нагрузки должен перетекать в рельсы соседних участков, а за меньшей длины участка ток должен перетекать с участка большей длины, т. е. одно обстоятельство компенсирует другое. И если не имеет места полная компенсация, то во всех случаях отклонения от принятого нами предположения весьма незначительны.

На основании всех изложенных соображений остановимся на рассмотрении следующих схем:

1. Одностороннее питание (рис. 1). Здесь на участке сольного питания длиной l_0 , имеющем равномерно распределенную нагрузку интенсивностью i (А/км), перемещается сосредоточенная нагрузка I_1 (А).

2. Двустороннее питание однопутного (рис. 2) или двухпутного (рис. 3) участка с симметрично расположенными нагрузками.

Легко видеть, что схемы рис. 2 и 3 сводятся к схеме с большим или меньшим сопротивлением рельса и за меньшей длины участка ток должен перетекать с участка большей длины, т. е. одно обстоятельство компенсирует другое. И если не имеет места полная компенсация, то во всех случаях отклонения от принятого нами предположения весьма незначительны.

Итак, выбрав схему рис. 1, составим общие уравнения для определения потери и падения напряжения до нагрузки I_1 , а также средние потери и падение напряжения за хода поезда по участку l_0 .

Особенно интересно установить влияние величины равномерно распределенной нагрузки на эти поправки нагрузки I_1 .

В соответствии с обозначениями на рис. 1 примем равномерно распределенная нагрузка, I_1 — сосредоточенная нагрузка.

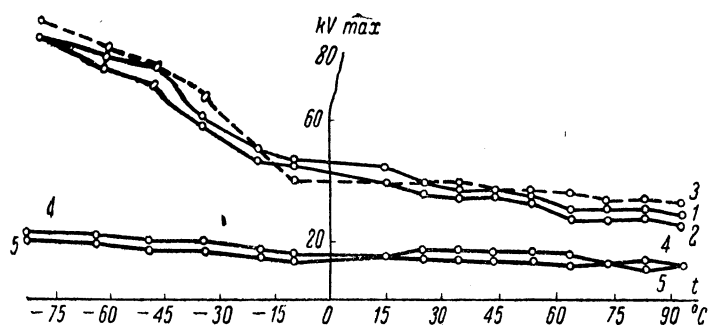


Рис. 1. Импульсное пробивное напряжение бумажной изоляции в зависимости от температуры.

Кривая 1 — прессшпан А, толщиной 0,8 мм; 2 — прессшпан В, толщиной 0,58 мм; 3 — пертинакс; 4 — кабельная бумага КН-17; 5 — лакоткань желтая

служившая одним электродом. Другим электродом служил графитированный участок плоского образца со стороны, противоположной лунке. Толщина образцов в наиболее тонком месте дна лунки бралась равной 1 мм при испытании на пробой импульсом и 0,5 мм при пробое переменным напряжением 50 Нз.

При пробое бумаги, прессшпана и лакоткани импульсным напряжением употреблялись электроды: нижний — стандартный, плоский, диаметром 25 мм с закругленными краями и верхний — полусферический, диаметром 25 мм. Нагрев масла в банке производился с помощью электропечи, помещенной в масло в стеклянной трубке. Этим исключалось непосредственное соприкосновение масла с обмоткой электропечи.

Пробой производился в трансформаторном масле, предварительно просушенном в течение 4—5 ч при температуре до 95°C под вакуумом.

При испытаниях прессшпана А переменным напряжением в электрическом поле «полусфера — плоскости», пробить прессшпан не удалось, вследствие больших поверхностных разрядов, имевших место в этом случае. Поэтому он пробивался в электрическом поле «острие — плоскости», причем для уменьшения поверхностных разрядов острие окружалось экраном из стеклянной трубки.

Получение и поддержание низкой температуры среды, в которой находились образцы, достигалось с помощью криостата [2]. Пробой производился в криостате, нижний электрод помещался на дно медного сосуда криостата, а верхний спускался сверху, через крышку криостата.

Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2.

Из рис. 1 и 2 видно, что при понижении температуры ниже нуля, до практически интересной наинизшей температуры минус 60°C, пробивное напряжение исследуемых видов трансформаторной изоляции растет. Пробивное напряжение прессшпана А в случае напряжения 50 Нз в этом интервале температур увеличивается по сравнению с пробивным напряжением при 15°C на 15%, для прессшпана В на 40, для пертинакса на 9, бумаги и лакоткани на 10%. При импульсе увеличение пробивных напряжений при понижении температуры еще больше.

Как известно, при тепловой форме пробоя логарифм величины пробивного напряжения линейно зависит от температуры диэлектрика, уменьшаясь при повышении температуры. Величина пробивного напряжения при электрическом пробое не зависит от температуры.

Исследование зависимости логарифма пробивного напряжения от температуры для пробоя пертинакса при напряжении 50 Нз показывает, что до температуры 55°C пробой носит электрический характер, при более высоких температурах пробой становится тепловым.

Для прессшпана А пробой становится тепловым при тем-

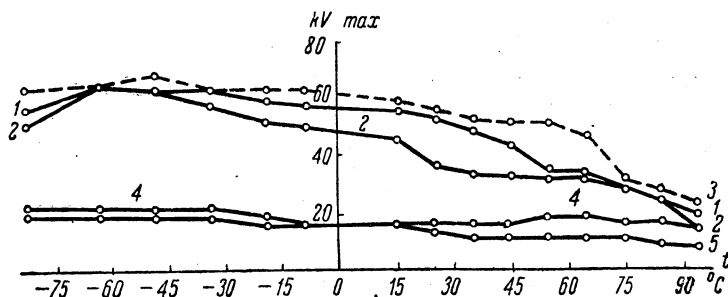


Рис. 2. 50-периодное пробивное напряжение бумажной изоляции.

Кривая 1 — прессшпан А, толщиной 0,8 мм; 2 — прессшпан В, толщиной 0,58 мм; 3 — пертинакс; 4 — кабельная бумага КН-17; 5 — лакоткань желтая

пературах выше 20°C, для прессшпана В при температуре выше 55°C. Для исследованных двух сортов бумаги во всем диапазоне температур — от плюс 95° до минус 85°C — не обнаружено температурной зависимости пробивного напряжения. Зависимость логарифма пробивного напряжения от температуры при пробое импульсом для прессшпана А получилась также характерной для теплового пробоя. Эта форма пробоя при употребляющихся нами импульсах с длиной хвоста порядка 10—4 сек возможна, но пробой переменным напряжением в этой области температур показал для прессшпана, электрическую форму пробоя, поэтому мы не можем объяснить полученную зависимость как результат теплового пробоя. Обращает внимание то обстоятельство, что характер получившейся зависимости логарифма пробивного напряжения в зависимости от температуры одинаков для всех трех различных материалов — прессшпана А, прессшпана В и пертинакса, хотя прессшпан пробивался в условиях резко неоднородного поля, а пертинакс в поле, близком к однородному. Полученные прямые имеют одинаковый наклон и выражаются одной и той же формулой.

Сопоставляя температурную зависимость логарифма пробивного напряжения для пертинакса, прессшпана А и прессшпана В, полученную в наших опытах, с аналогичной зависимостью для трансформаторных масел, по данным А. А. Воробьева и Н. А. Приходько [1], мы получаем наложение соответствующих точек. Это обстоятельство указывает, что при пробое на импульсах при низких температурах указанных выше материалов в трансформаторном масле пробой наступает вследствие пробоя масла.

Таким образом, полученные результаты показывают, что пробивное напряжение бумажной изоляции в трансформаторном масле, в практически интересном интервале низких температур, возрастает при понижении температуры. Отсюда можно сделать вывод, что эксплуатация высоковольтных аппаратов при низких температурах, с точки зрения электрической прочности их бумажной изоляции, вполне возможна.

Тема данной работы была предложена заведующим высковольтной лабораторией СФТИ проф. д-ром А. А. Воробьевым и проводилась при его руководстве и консультации.

Литература

1. А. А. Воробьев и Н. А. Приходько. Журн. технической физики 15, 9, 1939.
2. В. Ф. Божко. Труды СФТИ, в печати.
3. А. Ф. Вальтер и др. Физика диэлектриков ГП, стр. 502, 1932.
4. Труды 3-й Всесоюзной конференции по изолирующим материалам, стр. 125, 1934.

Электрические разряды на поверхности диэлектриков

М. И. МАНТРОВ

Завод «Динамо» им. Кирова

В технике высоких напряжений электрические разряды поверхности диэлектриков — весьма часто наблюдаемое явление. Однако поверхностные разряды едва ли не наиболее слабо изученная область физики электроизоляции материалов. В самом деле, напряжение короны, скользиющих разрядов и поверхностного пробоя в технике высоких напряжений определяется обычно эмпирическим путем. расчета скользких разрядов нам известны две эмпирические формулы: одна принадлежит Теплеру:

$$U_{ск} = C_1 \sqrt{d},$$

где d — толщина диэлектрика, а C_1 — некоторая постоянная, зависящая от знака заряда электрода, вокруг которого раздается скользящий разряд.

Другая эмпирическая формула дана Ротом:

$$U_{ск} = C_2 \sqrt{\frac{d}{\epsilon}},$$

где d и ϵ — толщина изоляции и ее диэлектрическая проницаемость, C_2 — некоторая универсальная постоянная.

В этой работе дается теоретический расчет поверхностных разрядов, результаты которого подтверждаются экспериментальными данными. В процессе изложения выясняется, что формулы (1) и (2) являются лишь частными случаями более общих закономерностей явлений поверхностных разрядов.

Расчет напряжений электрических разрядов на поверхности диэлектриков. В практике часто встречается

Из уравнения (17) или (18), принимая во внимание (8), (10) и (13), получим для напряженности поля

$$\dot{E} = -\frac{d\dot{U}}{dx} = \dot{U}_0 \gamma \frac{\operatorname{ch} \gamma(l-x)}{\operatorname{sh} \gamma l}, \quad (19)$$

а у края электрода ($x=0$)

$$\dot{E}_0 = U_0 \gamma \operatorname{cth} \gamma l. \quad (20)$$

Из (20) для напряжения на электроде F получим:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{E}_0}{\gamma} \operatorname{th} \gamma l. \quad (21)$$

Если для данной формы электродов корона или скользящие разряды возникают на поверхности изоляции при вполне определенных значениях E_0 ($E_0 = \text{const}$), то формула (21) бу-

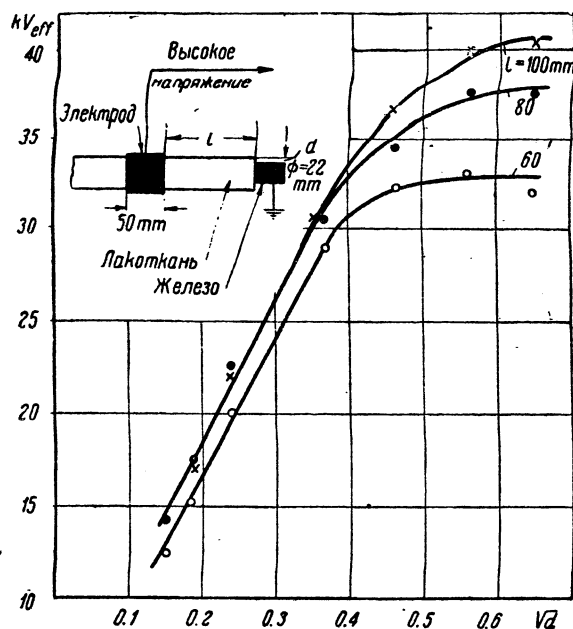


Рис. 4. Напряжение перекрытия (переменный ток) на шелковой лакокани, толщиной 0,115 mm

дет представлять зависимость напряжения короны или скользящих разрядов от размеров изоляции (d и l), ее электрических характеристик ($\epsilon_v, \epsilon_m, \rho_v, \rho_m, \rho_s$) и частоты ω .

Напряжение на электроде при полном поверхностном пробое определится из (18) при $x=0$;

$$\dot{U}_s = i_s Z \operatorname{th} \gamma l. \quad (22)$$

В этом случае моменту пробоя должно соответствовать условие $i_s = \text{const}$.

Поверхностные разряды при постоянном токе. При $\omega=0$

$$Z_s = \frac{\rho_s \rho_m}{\rho_s + \rho_m}, \quad (23)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_s \rho_m}{(\rho_s + \rho_m) \rho_v d}}, \quad (24)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\rho_s \rho_m \rho_v d}{\rho_s + \rho_m}}. \quad (25)$$

Предположим, что $\rho_m \gg \rho_s$, это, например, соответствует испытаниям на поверхностный пробой в нормальных условиях воздушной среды. Тогда можно положить

$$Z_s = \rho_s, \quad (26)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_v d}}, \quad (27)$$

$$Z = \sqrt{\rho_s \rho_v d}, \quad (28)$$

и формулы (21) и (22) примут, соответственно, вид:

$$U_{к, с\kappa} = E_0 \sqrt{\frac{\rho_v d}{\rho_s}} \operatorname{th} \left(\sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_v d}} \cdot l \right) \quad (29)$$

и

$$U_s = i_s \sqrt{\rho_s \rho_v d} \operatorname{th} \left(\sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_v d}} \cdot l \right). \quad (30)$$

Формула (29) дает величину напряжения короны и скользящего разряда, а формула (30) — напряжение при полном поверхностном пробое.

Из формулы (29) следует, что напряжение короны и скользящего разряда с увеличением ρ_v или d или с уменьшением ρ_s возрастает и стремится к некоторой постоянной величине.

Эмпирическая формула Теплер (1), как видно, является частным случаем формулы (29), когда $\operatorname{th} \gamma l = 1$.

Напряжение поверхностного пробоя, определяемое по формуле (30), увеличивается с ростом ρ_v или d , стремясь к некоторой постоянной величине, и быстро уменьшается с уменьшением ρ_s . Теоретическая кривая зависимости U_s от толщины изоляции дана на рис. 2. Подобными этой будет зависимость U_s от ρ_v изоляции.

Не представляет затруднений применение формул (2) и (22) к случаю поверхностных разрядов на твердых диэлектриках, находящихся в каких-либо изолирующих жидкостях.

Поверхностные разряды при переменном токе. Ограничимся простейшим случаем, когда ρ_s, ρ_v, ρ_m достаточно велики, так что режим поверхностных разрядов определяется главным образом, емкостными процессами. В этом случае как показывают вычисления,

$$\gamma = \sqrt{\frac{\epsilon_v}{K \cdot \epsilon_m d}} \quad (31)$$

и формулы (21) и (22) оказываются эквивалентными. Поэтому для всех видов поверхностных разрядов при переменном токе в рассматриваемом случае будем иметь одну и ту же формулу, а именно,

$$U_{к, с\kappa, s} = E_0 \sqrt{\frac{K \epsilon_m d}{\epsilon_v}} \operatorname{th} \left(\sqrt{\frac{\epsilon_v}{K \epsilon_m d}} \cdot l \right). \quad (32)$$

Из формулы (32) следует, что напряжение поверхностных разрядов повышается или с уменьшением диэлектрической проницаемости изоляции ϵ_v или с ростом толщины изоляции d , наконец, с ростом диэлектрической проницаемости среды ϵ_m , стремясь в каждом отдельном случае к некоторой постоянной величине. Вид этих зависимостей подобен представленному на рис. 2.

Из формулы (32) следует также, что эмпирическая формула (2), указанная Ротом, является частным случаем формулы (32), когда $\epsilon_m = 1$ и $\operatorname{th} \gamma l = 1$.

Формула (32) применима во всех случаях, когда $\rho_s > 10^{10}$, $\rho_v > 10^{10}$ и $\rho_m > 10^{10}$. В противном случае, сопротивление изоляции начинает влиять на распределение поля, в существенной зависимости от величины которого оказываются и напряжение поверхностных разрядов.

Формулы (21), (22) и (32) многократно проверялись нами на очень большом числе изоляционных материалов, как-то: лакокани, стекле, слюде, слюдяной изоляции, на различных лаковых покрытиях и т. п. Во всех случаях получено удовлетворительное согласие теоретических и опытных данных.

На рис. 3 и 4 приводятся экспериментальные зависимости напряжения поверхностного пробоя от толщины изоляции, полученные при испытании на постоянном и переменном напряжении и лакокани — на переменном напряжении. Сравнение рис. 2, 3 и 4 вполне подтверждает допустимость предположений, сделанных нами в теоретических расчетах при выводе формул (21), (22) и (32).

Общие формулы (21) и (22) применимы во всех случаях, где встречаются с эквивалентными электрическими схемами, подобными представленной на рис. 1, б. Это имеет место, например, в расчетах полей высоковольтных вводов; при испытании изоляционных материалов на пробой; во всех случаях возникновения скользящих разрядов внутри изоляции, как это, например, наблюдается при пробое изоляции высоковольтных кабелей. Поэтому мы надеемся, что высказанные в этой заметке теоретические соображения получат плодотворное применение не только в объяснении и расчетах напряжений поверхностных разрядов, но также и в других областях электротехники.

Анализ режима холостого хода трансформатора с подвижной короткозамкнутой обмоткой

А. М. БАМДАС и Б. В. БЕЛЯЕВ

Московский горный институт им. Сталина

Трансформатор для плавного регулирования напряжения под нагрузкой помощью подвижной короткозамкнутой обмотки, предложенный Е. Норрис (Е. Т. Norris), привлекает к себе все большее внимание в Советском Союзе. Ряд заводов и научно-исследовательских институтов конструирует эти регуляторы¹.

Интерес к регулятору системы Е. Норриса вполне обоснован. Мы считаем, что трансформатор с подвижной обмоткой обладает несомненными преимуществами по сравнению с другими регулировочными трансформаторами и весьма целесообразен для плавного регулирования напряжения в различных устройствах и установках средней и малой мощности. Регулятор с успехом может применяться и для автоматического регулирования напряжения, например для его стабилизации.

Можно указать большое число статей, посвященных регулятору. Однако статьи почти не содержат исходного материала для проектирования, и ряд вопросов освещен совершенно недостаточно, а частично и неправильно; наметка пути расчета регулятора опубликована в нашей статье [2].

В данной статье мы осветим вопросы, связанные с режимом при холостом ходе. Кроме того, в статье приводятся описания новой конструкции регулятора.

Влияние положения подвижной обмотки на ток холостого хода. В статьях о регуляторе указывается, что при холостом ходе и равенстве чисел витков в обеих встречно-включенных частях первичной обмотки w_a и w_b (рис. 1) ток в подвижной обмотке равен нулю при любом ее положении. Это утверждение делает непонятным изменение величин напряжений на половинах первичной обмотки при передвижении подвижной, так как если эта обмотка совершенно не обтекается током, то, очевидно, ее передвижение не может оказывать действие.

Наши наблюдения над разными регуляторами показали, что при холостом ходе ток протекает в подвижной обмотке и резко меняется по величине и фазе в зависимости от ее положения. Объясним это явление.

Рассмотрим сперва явления при симметричном положении подвижной обмотки относительно обеих неподвижных половин первичной обмотки (рис. 2, а). Магнитодвижущие силы обеих половин обмотки равны между собой, что следует из равенства чисел витков и схемы их соединения. Вследствие встречного включения обмоток w_a и w_b их магнитные по-

токи направлены в разные стороны в стали сердечника и замыкаются поперек окна. Благодаря сцеплению витков подвижной обмотки с равными и встречно направленными магнитными потоками обмоток w_a и w_b , наводимая в ней результирующая э. д. с. равна нулю. Это имеет место единственно при строго симметричном положении подвижной обмотки. Рассмотрим теперь явления при несимметричном положении подвижной обмотки относительно частей первичной (рис. 2, в). Магнитодвижущие силы обеих половин первичной обмотки одинаковы, но числа их потокоцеплений с подвижной обмоткой разные, так как различные сопротивления путей для магнитных потоков. Вследствие неравенства потокоцеплений, результирующая э. д. с. в подвижной обмотке не равна нулю, и по обмотке протекает ток.

Разность чисел потокоцеплений подвижной обмотки с неподвижными зависит от величины сдвига этой обмотки относительно ее симметричного положения. Соответственно изменяется ток подвижной обмотки; его величина пропорциональна сдвигу обмотки и — наибольшая при ее крайних положениях. При переходе подвижной обмотки через ее среднее, симметричное положение меняется на 180° сдвиг фаз между током в ней и первичным напряжением². В соответствии с положением подвижной обмотки меняются величины напряжений на обмотках w_a и w_b и, следовательно, вторичное напряжение регулятора. Меняется также и величина тока холостого хода в первичной обмотке. Наименьшее его значение должно быть, очевидно, при среднем положении подвижной обмотки, наибольшее — при крайних.

На рис. 3 приведены графики полученных экспериментальным путем зависимостей величин тока в подвижной обмотке и тока холостого хода от величины сдвига обмотки.

Вторичное напряжение регулятора. Для любой схемы соединений обмоток вторичное напряжение имеет два предельных значения: $U_{2\max}$ и $U_{2\min}$ — соответственно двум крайним положениям подвижной обмотки. Для вычисления предельных значений нужно знать, какая часть первичного напряжения U_1 приходится на одну из половин первичной обмотки при наибольшем сближении с подвижной обмоткой, т. е.

$$\text{величину } s = \frac{U_{a\min}}{U_1}.$$

Эта величина определяет, как мы показали ранее [2], все расчетные параметры схем. Найдем $U_{2\max}$ и $U_{2\min}$ для простейшей схемы регулятора (рис. 1). При данной схеме соединений вторичное напряжение всегда равно напряжению на обмотке w_a . При крайних положениях подвижной обмотки, имеем:

$$U_{2\max} = U_1(1 - s);$$

$$U_{2\min} = U_1 s.$$

² Опрокидывание фазы тока холостого хода в подвижной обмотке объясняет наблюдаемое неравенство величин тока в ней при одинаковой нагрузке регулятора и различных ее положениях. Особенно резкое отличие величин токов происходит, как это легко объяснить, при индуктивной нагрузке.

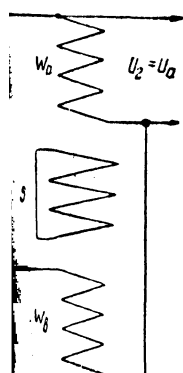


Рис. 1. Простейшая схема соединений обмоток трансформатора с подвижной короткозамкнутой обмоткой

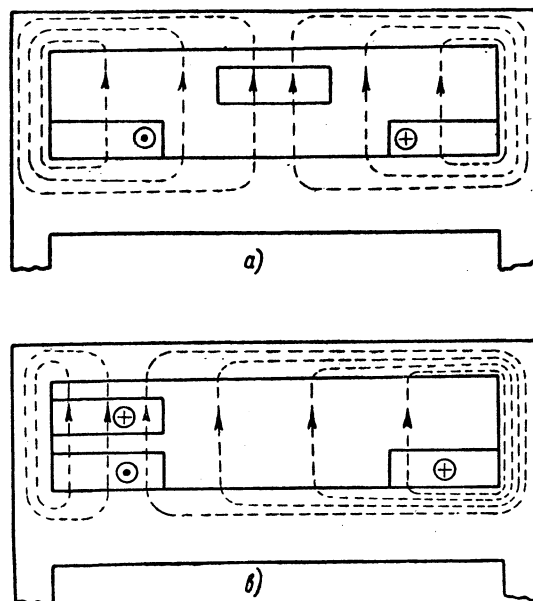


Рис. 2. Потокоцепления подвижной обмотки в случае симметричного (а) и несимметричного (б) расположения ее

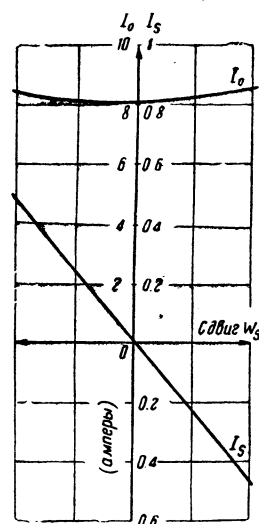


Рис. 3. Токи в первичной обмотке и подвижной в зависимости от сдвига подвижной обмотки от ее симметричного положения

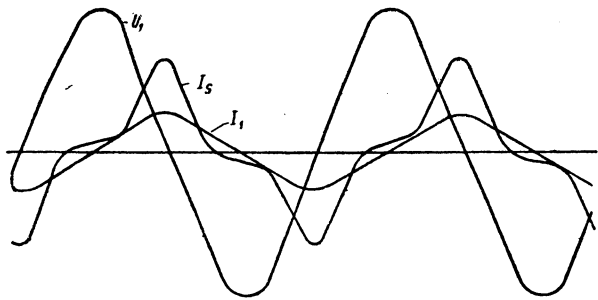


Рис. 4. Осциллограммы токов и напряжения для крайних положений подвижной обмотки

Для других схем предельные значения вторичного напряжения определяются способом соединений³ и числами витков отдельных частей обмоток.

Величина s для обычных регуляторов больше нуля; она примерно равна 0,1. Принимая это значение, легко заключить, что при схеме рис. 1 можно регулировать величину вторичного напряжения лишь в пределах от 10 до 90% величины первичного напряжения. Итак, регулятор с данной схемой может служить только для понижения напряжения.

Регуляторы с другими схемами соединений также имеют ограниченные области применения. Нам представляется весьма важным отметить, что возможна такая конструкция регулятора, при которой величина s может быть равна нулю или отрицательной. В последнем случае напряжение на одной половине первичной обмотки обратно по фазе напряжению на другой. При осуществлении регулятора с $s \leq 0$ расширяется область применения отдельных схем соединений. Например, регулятор со схемой рис. 1 может служить при этом для получения U_2 , меняющегося от нуля до U_2 , равного или большего U_1 .

При концентричном расположении неподвижных и подвижных обмоток с равной высотой величина s — отрицательна, если высота сердечника такова, что подвижная обмотка в крайнем положении несколько заходит за соответствующую половину первичной обмотки⁴.

Форма кривой вторичного напряжения и формы кривых токов при холостом ходе. Форма кривой вторичного напряжения определяется формами кривых магнитных потоков, пронизывающих половины первичной обмотки и наводящих в них соответствующие э. д. с. Кривые потоков меняют свою форму в зависимости от положения подвижной обмотки, так как при этом меняется индукция в отдельных частях магнитопровода. Рассмотрим два случая — крайнее положение подвижной обмотки и среднее. Индукцию в стали будем считать взятой в обычных пределах 10 000—14 500 Г. При крайнем положении подвижной обмотки, потоки и напряжение на отдельных половинах первичной обмотки — совершенно различные по формам кривые. На половине обмотки, к которой приближена подвижная, наблюдается небольшое по величине напряжение с сильно искаженной по форме кривой, — резко выражены третья и пятая гармоники. Наоборот, на другой половине — напряжение велико — близко к U_1 и форма его кривой приближается к синусоидальной. При среднем положении подвижной обмотки напряжения обычно синусоидальны на обеих половинах первичной обмотки.

Перейдем к интересному вопросу о форме тока холостого хода в первичной обмотке и в короткозамкнутой подвижной обмотке. Формы кривых обоих токов определяются положением подвижной обмотки. Первичный ток холостого хода при ее среднем положении обычно практически синусоидальный.

³ В нашей работе [2] определены U_2 для всех основных схем соединений регулятора.

⁴ Величина s может быть также отрицательна при неодинаковых размерах обмоток.

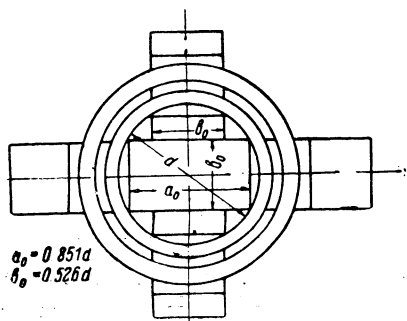


Рис. 5. Магнитопровод регулятора напряжения с подвижной короткозамкнутой обмоткой (вариант с прямоугольными обмотками)

Это происходит оттого, что магнитные потоки в регуляторе идут поперек окна и трансформаторная сталь мало насыщена. Вследствие сказанного, синусоидальная м. д. с., требуемая для воздушного пути, несравненно больше, чем для слегка несинусоидальной для стали. При крайних положениях подвижной обмотки первичный ток холостого хода несколько искажен, так как сталь насыщается. Искажение велико и в этом случае, вследствие относительно большой м. д. с. для воздушного пути.

В подвижной обмотке, при ее крайних положениях, протекает несинусоидальный ток, так как ее пронизывает несинусоидальный поток и, следовательно, наводит в ней несинусоидальную э. д. с.⁵

На рис. 4 приведена осциллограмма токов холостого хода в подвижной обмотке для одного крайнего положения. На осциллограмме, снятой для другого крайнего положения подвижной обмотки, ток I_s сдвинут по фазе на 180°.

Величина тока холостого хода. Вследствие малого насыщения стали магнитопровода, можно с достаточной для практики точностью принять величину тока холостого хода, равной току намагничивания воздушного пути потока, при введении эмпирического коэффициента, учитывающего наличие стали, достигаем точности, мало уступающей соот-

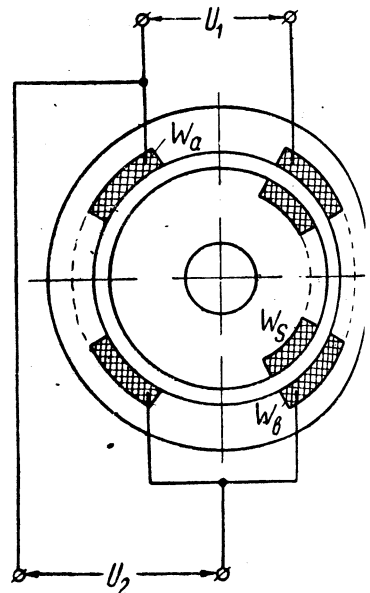


Рис. 6. Конструкция регулятора с угловым перемещением подвижной короткозамкнутой обмотки

ствующей точности в подсчетах тока холостого хода современных трансформаторов. При выводе формулы, определяющей величину тока холостого хода, мы предполагаем, что обычно, равными числа витков обеих групп первичной обмотки ($w_a = w_b = w$) и пренебрегаем потерей напряжения этой обмотке. Магнитный поток одной из двух групп обмоток

$$\Phi_a = \frac{10^8 \cdot U_1}{4,44 \cdot f w_a} (1 - s),$$

где s — часть приложенного напряжения, приходящаяся на вторую группу первичной обмотки, поток которой

$$\Phi_b = \frac{10^8 \cdot U_1}{4,44 \cdot f w_b} s.$$

Полный поток равен сумме этих потоков

$$\Phi_0 = \Phi_a + \Phi_b = \frac{10^8 \cdot U_1}{4,44 \cdot f w}.$$

Магнитодвижущая сила обеих групп будет $0,4\pi \cdot 2w \cdot \frac{Lb}{l}$, где L — высота и l — ширина окна, а b — толщина пакета магнитопровода.

Откуда получаем

$$I = 0,9 \frac{U_1 \cdot 10^7}{L b f w^2}.$$

Вводя эмпирический коэффициент $k = 1,1$, учитывающий вышеуказанные допущения, мы получаем окончательно:

$$I = \frac{U_1 \cdot 10^7}{L b f w^2}.$$

⁵ Мы считаем, что величина s положительна.

Искрогашение при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора (схема *d*, рис. 1). Схема *d*, предложенная автором, представляет комбинацию двух рассмотренных выше схем.

В первый момент размыкания, пока конденсатор не заряжен, ток в купроксном выпрямителе

$$i_a = \frac{u}{r_m} - \frac{u + \Delta u}{R'},$$

где

$$R' = \frac{R \cdot \frac{R_c}{k}}{R + \frac{R_c}{k}}.$$

Сопротивление R_c выбирается очень малой величины, и ток купроксного выпрямителя в первый момент размыкания мал или вообще отсутствует. В этом случае искрогасителем является конденсатор. По мере заряда конденсатора сопротивление R' и ток в купроксном выпрямителе увеличиваются. Функцию искрогасителя теперь уже начинает выполнять купроксный выпрямитель.

Выше показано, что напряжение на контактах после размыкания цепи при наличии купроксного выпрямителя устанавливается, согласно (4), примерно равным напряжению питания u . Это позволяет применить сопротивление R_c очень малой величины, чем устраняется основной недостаток рассмотренного выше метода искрогашения при помощи одного только конденсатора.

Так как при наличии купроксного выпрямителя напряжение на контактах после размыкания не зависит от величины добавочного сопротивления R , то такая схема искрогашения позволяет применять одноступенчатый регулятор напряжения в машинах с очень широким пределом регулирования (с очень большим значением добавочного сопротивления R).

Искрогашение при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора, таким образом, является исключительно эффективным. Габариты купроксного выпрямителя настолько малы, что не могут служить препятствием для применения такой схемы искрогашения.

Включение сопротивления параллельно индуктивности (схема фирмы Бош). Фирма Бош для целей искрогашения включает параллельно индуктивность сопротивления r . Анализ такой схемы произвел Spreadbury [5]. Сравнивая его выводы с только что сделанными для схемы искрогашения при помощи купроксного выпрямителя, можно сказать, что выводы эти одинаковы. Для схемы Бош

$$i_R = \frac{u + i_m \cdot r}{R + r},$$

$$u_k = \frac{R(u + i_m r)}{R + r}.$$

При $r = R$

$$u_k = \frac{u + u \cdot \frac{R}{r_m}}{2} \approx 3u.$$

Так как сопротивление r выбирать очень малым нельзя, то напряжение на контактах при размыкании цепи в этом случае снижается незначительно. Если учесть, что разрываемый контактами ток при этом несколько увеличивается, то эффект искрогашения в схеме Бош получается незначительным.

При испытаниях регулятора напряжения к авиационной динамомашине ($u = 27$ В, $r_m = 14 \Omega$ и $R = 70 \Omega$) оказалось, что на вольфрамовых контактах в схеме искрогашения с одним активным сопротивлением, включенным параллельно контактам, искрение начиналось в зависимости от степени окисления поверхности контактов, при токах 1,0–1,4 А.

Если, помимо этого, включить конденсатор емкостью $c = 2 \mu\text{F}$ и сопротивление $R_c = 60 \Omega$ (согласно условию Krüger), то предельный разрываемый ток увеличивается примерно на 10%. Схема искрогашения с одним только купроксным выпрямителем показала незначительный эффект искрогашения.

Исключительно эффективно действовала схема искрогашения при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора. Для машины на напряжение $u = 27$ В, $r_m = 7 \Omega$ (две обмотки соединены параллельно) применили регулятор с вольфрамовыми контактами и искрогаситель с данными $c = 2 \mu\text{F}$

и $R_c = 3 \Omega$. Этим регулятором удавалось разрывать ток до 2,8 А без всяких искр при различных значениях добавочного сопротивления R (от 60 до 200 Ω). Тем самым была доказана возможность, используя схему искрогашения при помощи купроксного выпрямителя и конденсатора, строить авиационные генераторы большой мощности и с широким пределом регулирования.

Литература

1. Krüger. Изменение формы сильнотоочных серебряных контактов аппаратов связи при включении постоянного тока. Verlag R. Oldenburg.
2. Holm, Guldenpfennig, Störmer. Статьи в журналах Wiss. Veroff. aus den Siemens Werken № 1, 1935; № 2, 1937, ETZ, 19, 1935, Zeitschr. f. techn. Physik, № 11, 1938.
3. Усов, Лазаренко и Заславская. Исследования переноса и коррозии металла под действием электрических разрядов на разрывных контактах. Брошюра 1938.
4. Н. Fin k. Исследования возникновения контактной дуги. Wiss. Veroff. aus den Siemens Werken, Bd. XVII, H. 3, 1938.
5. F. Spreadbury. Метод гашения искры на контактах регулятора напряжения. The Electrician, стр. 3, № 3110, 1938.
6. W. Bürstyn, „Электрические контакты“. Berlin. Verlag J. Springer 1937.

Защита радиоприема от помех, распространяющихся по троллейбусной линии

С. А. ЛЮТОВ
Ленинград

Троллейбусные линии, обладая достаточно малым затуханием¹, служат хорошим переносчиком помех, создаваемых как троллейбусами, так и другими, расположенными вблизи линии источниками помех. В результате прием радиопередатчиков, живущими вблизи троллейбусной линии, становится невозможным.

Применение на троллейбусной линии защиты от помех путем блокировки линии конденсаторами на землю позволяет сильно ограничить распространение помех по линии, а также увеличить общий коэффициент эффективности защиты троллейбуса.

Блокировка троллейбусной линии производится через промежутки, равные обычно расстоянию между соседними столбами или подвесками.

Из эквивалентной схемы защиты рис. 1, *a* видно, что троллейбусная линия, защищенная блокировкой, представляет собой многозвенный фильтр. При рациональном подборе параметров его, путем использования последовательного резонанса в цепях блокировок, можно достичь значительного уменьшения расстояния распространения помех по троллейбусным проводам и ослабление помех, создаваемых электрооборудованием троллейбуса.

Воздействие троллейбусной линии на антенну приемника определяется, в основном, лишь несимметричной составляющей помехи, защита от которой выполняется конденсатором C_2 .

Эквивалентную схему защиты по несимметричной составляющей наиболее удобно для расчета представить в виде схемы *b* рис. 1.

В этой схеме мы пренебрегли сопротивлением цепи симметричной блокировки троллейбусных проводов между собой конденсатором C_1 , так как практически для радиовещательного диапазона оно мало по сравнению с сопротивлением троллейбусных проводов между блокировками.

Кроме того, индуктивность обоих троллейбусных проводов ввиду их полной тождественности представлена в виде эквивалентной индуктивности $L_1 = \frac{L' + M}{2}$.

Сопротивление R_3 является сопротивлением заземления цепей блокировки с конденсаторами C_2 .

Для исключения возможности появления в защищаемом диапазоне частот вредных резонансов, емкости C_1 , C_2 и индуктивности L_1 , L_2 выбирают такими, чтобы характер сопротивления цепей блокировок в защищаемом диапазоне не был емкостным.

При выполнении этого условия резонансы как симметричной

¹ Коэффициент затухания 300 м линии $\beta = (1,42 - 1,48) \cdot 10^{-4}$

цевых решеток. Они расположены так, что одна из сеток фильтра отражает то, что пропустила другая. Таким путем легко устранить как очень длинные, так и очень короткие волны [5].

Сочетание нескольких плоских фильтров, поставленных в последовательном порядке, дает многократный фильтр, выделяющий более узкую полосу из спектра излучателя.

В последнее время разработана теория действия массового излучателя в предположении, что частицы вибрационной смеси имеют правильную форму шариков, расположенных в смеси, для простоты, по кубической системе; в центре кубика смеси имеется один шарик. Каждая пара шаров образует малый вибратор Герца. Теория приводит к определенным закономерностям, касающимся зависимости энергии, запасенной в вибраторах, от концентрации, размера частиц и других факторов. Сравнение результатов теории согласуется с экспериментальными данными А. П. Калугиной [6].

Н. А. Соколовым изучена длинноволновая часть спектра массового излучателя. Для вибрационной смеси были взяты частицы разного размера — от 0,32 до 0,04 см. Детекторами служили резонансные термозлементы с антеннами разной длины. Измеренные по методу интерференции длины волн оказались лежащими в диапазоне от $\lambda = 18,2$ до $\lambda = 0,15$ см.

Стиктография. В области исследования сантиметровых и более длинных волн следует отметить введение лабораторией в ультратехнику метода, подобного фотографии [7].

Лабораторией изобретена «чувствительная электрохимическая пластинка» и такая же бумага. Этот метод, названный стиктографией, позволяет получить при помощи электрических волн тени и изображения, образованные скоплением точек. В частности, впервые получено на бумаге изображение герцевского вибратора при помощи излучаемых им волн. Изображение представляет собой дифракционную картину, подобную изображению звезды в астрономической трубе (А. М. Морозова [8]).

В связи с проблемой стиктографии были поставлены задачи изучения электростатики стиктографического когерера (В. К. Аркадьев), распределения тока около когерера, лежащего на бумаге (В. А. Кизель [9] и Ф. Ф. Панасенков [10]) и статистика пробоя когереров (З. Г. Чернявская [11]).

Рецептура раствора для пропитывания бумаги имеет весьма важное значение; этому посвящено исследование З. А. Иофа [12, 13]. Механизм работы по когерерам изучен в работах Д. И. Пенера [14, 15]. Им, в частности, исследовалась зависимость пробоя от способа изготовления опилок и их количества в когерере, а также общий вопрос о металлическом контакте.

В настоящее время В. К. Аркадьевым и Д. И. Пенером разработан новый метод фиксации сантиметровых волн на плоскости, основанный на применении фотографической пластинки. Этот способ (искровая стиктография) основан на получении большого количества мельчайших искр между металлическими частицами, насыщенными на пластинку. Такое свечение может наблюдаться при хорошем затемнении и глазом.

Электромагнитные процессы в металлах. По разделу распространения электромагнитного поля в металлах решено много отдельных вопросов.

Они распадаются на две группы: а) теория скин-эффекта и ее применение для вычисления из данных опыта магнитных характеристик вещества, его консервативной и консумптивной проницаемости и б) теория зависимости этих проницаемостей от частоты магнитного поля, которая представляет собой частный случай общей теории пассивных спектров.

Изучению скин-эффекта, имеющего большое значение для процесса намагничивания сердечников трансформаторов, дросселей, электромагнитов, посвящен ряд работ лабораторий.

Обычно при математическом исследовании скин-эффекта исходят из предположения, что магнитная проницаемость материала μ не зависит от поля. Подобное упрощение теории справедливо для слабых магнитных полей, а также для некоторых специальных сплавов (например пермаллювар), имеющих постоянную проницаемость в интервале магнитных полей в несколько эрстед. Однако в большинстве случаев проницаемость далеко непостоянна, и это предположение не позволяет правильно отобразить явления скин-эффекта в средних и сильных полях.

В. К. Аркадьев [16] развил теорию скин-эффекта в предположении, что магнитная индукция B постоянна, т. е. что индукция в железе движется крутым фронтом. Эта теория приводит к выводам, имеющим практическое значение. Так, в частности, само возникновение теории связано с изучением условий намагничивания рельсов при их контроле путевыми дефектоскопами НКПС.

В работах В. К. Аркадьева [17] и Тихонова [18] рассмот-

рены процессы заполнения пластинки магнитной индукции при неперриодическом появлении и исчезновении поля.

К числу проблем, связанных с явлением скин-эффекта, относится исследование характеристик железных проводов на переменном токе. Ввиду практической важности этого вопроса мы остановимся на нем несколько подробнее.

Измерение сопротивления ферромагнитных проводов (железных, стальных) осложняется тем, что, в отличие от неферромагнитных проводников (медь, алюминий), их сопротивление зависит не только от частоты тока, но и от величины тока (при одинаковой частоте и температуре провода).

Полное сопротивление переменному току Z определяется величиной магнитной проницаемости. Естественно, что факторы, влияющие на магнитную проницаемость и на ток, будут влиять и на сопротивление Z . Сильный скин-эффект в железном проводе, а следовательно, и высокое его сопротивление, таким образом, связано с большой проницаемостью железа. Для ослабления скин-эффекта необходимо создать, следовательно, в проводе препятствие к образованию потоков магнитной индукции.

Железная труба с продольным разрезом и железный трос в котором промежутки, ослабляющие магнитную индукцию, состоят из окалины и воздуха между отдельными жилами троса, показывают меньшую разницу в сопротивлениях постоянному и переменному токам даже при большом диаметре общего сечения (10—15 мм). Относительная дороговизна троса затрудняет применение его в электротехнике. В. Аркадьев предложил конструкцию железного провода и шины, имеющие сечение в форме гармошки [20]. Испытания таких конструкций показали почти полное совпадение сопротивлений постоянному и переменному токам.

Исследованием явления, родственного указанным выше, занимался Б. А. Садилов [21]. Он показал сильную зависимость сопротивления железного провода от внешнего натяжения: с увеличением натяжения сопротивление провода резко падает.

В ближайшее время предполагается провести аналогичное исследование для проволоки из никеля, обладающего, как известно, по сравнению со всеми другими чистыми металлами, наибольшим коэффициентом магнитострикции. Теоретические исследования по расчету сопротивления переменному току железного провода были проведены А. А. Ермолаевым [22] и И. В. Антик [23]. Ему было показано, что ког, известны гнезда петель гистерезиса при аксиальном и циклическом намагничивании, то по указанным выше средним значениям μ_{med} и μ_{med} можно построить хорошо согласующиеся с опытом теоретические кривые Z , R_w и X .

В лаборатории положено начало особой отрасли учения магнетизме, именно магнитной спектроскопии. Она возникла из изучения процессов намагничивания, обусловленных особыми свойствами самого вещества ферромагнетика. В 1926—1927 гг. эти явления, называемые магнетодинамическими, ставились в связь с явлением Баркгаузена, что привело к открытию звучания железа при перемагничивании [24].

В последующие годы получила развитие теория магнитных спектров В. К. Аркадьева [25], которая дает возможность получить теоретические формулы для проницаемости вещества и его магнитной проводимости $\rho = \frac{\rho'}{2T}$ в зависимости от частоты.

Выводы этой теории были проверены и подтверждены О. И. Велецкой на экспериментальных данных других авторов, а потом и на собственных измерениях [26] мягких магнитных материалов (пермаллюй), выполненных частично совместно с В. М. Гойтайниковым [27].

Наличие резкой зависимости проницаемости магнитных материалов от частоты в области слабых полей должно иметь и практическое значение. При расчетах дросселей трансформаторов, — там где требуется независимость индуктивности магнитного потока от частоты, — необходимо знать учитывать магнитный спектр материала сердечников [28].

Явления магнитной вязкости должны проявляться не только в периодических процессах, но и в аперриодических процессах намагничивания. По этому вопросу следует указать (кроме указанных работ А. Н. Тихонова) на работу К. А. Волковой, которая дала математический анализ динамически кривых размагничивания и установила роль побочного фактора искры размагничивания.

В своих экспериментальных работах Р. В. Телеснин исключил искру размыкания и получил очень сильное замедление процесса изменения намагниченности на спинке гистерезисной петли, где дифференциальная проницаемость очень велика.

Пользуясь маятником Гельмгольца, допускающим измерение очень коротких промежутков времени, до 10^{-6} sec, он

чили кривые намагничивания, размагничивания и перемагничивания железных проволок и лент толщиной до нескольких акрон. Из его измерений следует, что для наиболее тонких объектов время изменения намагниченности во много раз выше 700) больше вычисленного по формуле Введенского, что указывает на невозможность объяснения хода процессов кривыми Фуко, и тем с полной очевидностью выявляются явления магнитной вязкости.

Кроме указанных здесь работ лаборатории им. Максвелла, в которых многие представляют собой вновь созданные темы и новые открытия, ей принадлежат также заслуги в области создания новых кадров советских ученых. В лаборатории начал свою научную деятельность ряд молодых физиков Союза, из числа которых назовем профессоров Московского университета Б. А. Введенского, В. А. Корчагина, С. Акулова и Е. И. Кондорского. Лабораторией выпущено ряд научных руководств и сборников научных трудов, частично приведенных в списке литературы.

Литература

1. А. А. Глаголева-Аркадьева, Ж. Т. Ф. 757, 6, 1936.
2. А. А. Глаголева-Аркадьева, Успехи физических наук. 522, 16, 1936.
3. А. А. Глаголева-Аркадьева, "Сорена" № 9, 1936.
4. А. А. Глаголева-Аркадьева, Доклады АН, III, р. 415, № 6, 1934.
5. А. А. Глаголева-Аркадьева, Известия ОТН АН СССР № 10, 1938.
6. А. П. Калугина, Ж. Э. Т. Ф., т. 9, стр. 362, № 3, 1939.
7. В. К. Аркадьев, Доклады АН, т. 3, стр. 412, № 6, 1934.

8. В. К. Аркадьев и А. М. Морозова, Доклады АН. 277, 1, 1936.
9. В. А. Кизель, Ж. Э. Т. Ф., стр. 502, т. 2, 1937.
10. Ф. Ф. Панасенков, Ж. Э. Т. Ф., стр. 457, № 5, 1936.
11. В. К. Аркадьев и Э. Г. Чернявская, Ж. Э. Т. Ф., стр. 107, т. 7, 1937.
12. З. А. Иофа, Ж. Т. Ф., т. 8, стр. 915, № 10, 1938.
13. З. А. Иофа, Ж. Т. Ф., т. 8, стр. 1040, № 11, 1938.
14. Д. И. Пенер, Ж. Т. Ф., стр. 2227, т. 7, 1937.
15. Д. И. Пенер, Ж. Т. Ф., т. 9, стр. 445, № 5, 1939.
16. В. К. Аркадьев, Практические проблемы электромагнетизма, стр. 19—42, изд. АН, 1939.
17. В. К. Аркадьев, Доклады АН, 35, 16, 1937.
18. А. Н. Тихонов, Проблемы электротехнического металла. 117. Изд. ОТН АН, М.—Л., 1938.
19. Е. И. Кондорский, Вестник электротехники, стр. 79, № 5, 1930.
20. Е. П. Островский и Б. А. Садиков, Железные провода. Энергоиздат, 1932.
21. Б. А. Садиков, Вестник электротехники, стр. 79, № 5, 1930.
22. А. А. Ермолаев, Сборник "Современные проблемы электромагнетизма", посвященный 10-летию лаборатории электромагнетизма им. Максвелла, ГТТИ, 1931.
23. И. В. Антик, Arch. f. Elektr., т. 25, стр. 125, № 2, 1931.
24. В. К. Аркадьев, Электричество № 8, 1927.
25. В. К. Аркадьев, Электромагнитные процессы в металлах, т. 2, ГТТИ, 1936.
26. О. И. Велецкая, Ж. Э. Т. Ф., т. 6, стр. 445, № 5, 1936.
27. О. И. Велецкая и В. М. Гойтаников, Сборник "Практические проблемы электромагнетизма", стр. 73—79, изд. АН СССР, 1939.
28. В. К. Аркадьев, Электричество № 3, 1939.
29. Р. В. Телеснин, Ж. Э. Т. Ф., т. 7, № 4, 1937.

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Исследования Эпинуса в области электромагнетизма

(1724—1802)

М. И. РАДОВСКИЙ

*Ленинградский электротехнический институт
инженеров сигнализации и связи*

Исследования Эпинуса относятся к 50-м годам XVIII в., когда учение об электричестве, за полтора века существования, уже насчитывало ряд доказательств.

При опубликовании Эпинусом сочинений об электричестве наука уже обладала достаточным количеством сведений по вопросам простотатики. Экспериментально было доказано, что в очень многих телах можно возбудить электрические заряды. В литературе раздавались все чаще и увереннее голоса, о делении веществ природы на «электрические» и «неэлектрические», как предполагал Гильберт (1603—1683) и многие из его последователей, не сомневаются объективной действительности. Были известны и тщательно изучались взаимодействия электризованных тел, электрическая проводимость, электрическое влияние, простотатическая индукция, лейденская банка. Всеобщее внимание привлекали изыскания в области атмосферного электричества, основа которых была заложена Везианом Франклином. В России этими вопросами успешно занимался М. В. Ломоносов, который в ряде случаев совершенно самостоятельно шел к тем же выводам, что и Франклин. К концу XVIII в. электрическая машина (электростатический генератор) прочно вошла в лабораторную практику экспериментов.

Ученый мир напряженно искал ответа на целый ряд вопросов, выдвинутых теоретической частью учения об электричестве. Со времен Дюфэ (30-е годы XVIII в.) наука уже знала о двух состояниях наэлектризованного тела. Как говорил Дюфэ, в природе существуют два рода электричества: стеклянное и смоляное. Выводы Дюфэ, сделанные им на основе экспериментальных данных и опубликованные в 1733 г., представляют истоки дуалистической теории электричества. Франклин, труды которого относятся к концу 40-х и началу 50-х годов XVIII в., высказал противоположную точку зрения, лежащую в основе унитарной теории. По мнению Франклина в природе существует только одно «электрическое начало». Наэлектризованные тела отличаются степенью их наэлектризованности: в одних телах — избыток электричества, в других — недостаток; одни заряжены положительно (+), другие же отрицательно (—).

Таким образом в 50-х годах XVIII в. уже существовали две основные теории электричества: унитарная и дуалистическая, которые с переменным успехом боролись на протяжении почти 2 веков.

Эпинус был последователем Франклина. Он придерживался унитарной теории и значительно ее разрабатывал попутно с занятиями по основному вопросу, который его интересовал в продолжение многих лет,

оизвесть хочет, тот должен нарушить равновесие переменить в теле натуральное количество жидкой материи. Сие можно сделать двояким образом: и умножая оную в теле, или уменьшая. Посему а рода Электрической силы быть должно, которое для разделения не худо названы быть могут положительной и отрицательной. Сии наименования, как, знающий употребление слов у математиков, хвалит. Словом, положительной Электрической силы пристойно будет означать ту, которая производится в теле, когда количество материи сверх турсального умножается, а отрицательной — когда уменьшения количества материи Электрическая ла происходит».

Придерживаясь изложенных здесь взглядов, Эпинус сделал необычайно смелый для своего времени шаг тем, что решился связать электрические и магнитные явления и утверждал, что причина этих двух явлений природы — одна и та же.

Сочинения Эпинуса доказывают, что именно он первый в научной литературе серьезно разработал вопрос о родстве электричества и магнетизма. Необходимо также подчеркнуть, что во времена Эпинуса вопрос этот приобрел характер актуальной естественно-научной проблемы. Автор указывает, что «больше нежели за десять, как помнится, лет Ирдюжская Академия наук предлагала с награждением задачу, есть ли какое сходство между Электрическою и магнитною силою и в чем оно состоит».

Накопленные данные заставили физиков все более задумываться над вопросом о связи между электрическими и магнитными явлениями. Эпинус подчеркивает: «Многokrатно примечено, что молния, касающаяся до магнитной стрелки или до компаса, не только великую в нем перемену производила, но временем и совсем перемещала полюсы магнитной стрелки». Иными словами, предмет исследования Эпинуса «сходство Электрической силы с магнитною» — представлял тогда насущную задачу науки.

Как известно, указанная проблема была окончательно разрешена более чем через полвека после того, как Эпинус опубликовал свои труды, и случилось это тогда, когда появилось и развернулось в радиоэлектрическую область физики учение об электрическом токе; тогда, когда удалось «превратить электричество в магнетизм» и наоборот. Тогда-то и возросло учение об электромагнетизме, началом которого считают тот знаменитый в истории естествознания период, когда осуществлялись труды Эрстедта, Араго, Ампера, Стерджена и Фарадея. Последней так и ставил перед собой задачу: «превратить магнетизм в электричество».

Но все это относится уже к 20-м годам XIX в. В первой же половине XVIII в. в науке безраздельно господствовало мнение Гильберта о том, что между электрическими и магнитными явлениями никакой связи, что это совершенно независимые друг от друга явления природы. Гильберт даже специально подчеркивает различие между ними. Гильберт занимался изучением электрических явлений исходя из вопросов магнетизма. Вспомним, что трактат называется «О магните, магнитных телах и о самом большом магните «Земле» (1600).

В свое время подход Гильберта имел свое благотворное действие. Путем резкого разделения электрических и магнитных явлений исследователь при- к созданию особого учения об электричестве.

Как известно, Гильберт первый ввел в научный обиход новое понятие «электрической силы», «электричества». Последователи Гильберта, разрабатывая открытую им область знаний, в течение полутора веков оставались верными воззрениям основателя учения об электричестве и изучали электрические явления независимо от магнитных. И только в середине XVIII в. под влиянием новых открытий и наблюдений ученые, вначале правда смутно, стали догадываться, что такой подход неоснователен. Эпинус пишет: «должно признаться, что те, которые по сие время о сходстве сих сил (электрических и магнитных) рассуждали, больше догадывались, нежели оное совершенно познавали», и тут же замечает: «однако же не подлежит порицать того, кто показывает, с которой стороны ведущей к понятию природы путь искать должно, хотя оного точно показать не может».

Продолжительное время Эпинус оставался в положении таких исследователей. Предпринятые им изыскания очень долго не увенчивались эффективными результатами. Он пишет, что «искал истинного пути к познанию сих тайнств природы, что наконец утрудившись принужден был отставать от дальнейшего исследования». Из этого затруднения его вывело ознакомление со свойствами турмалина, которые он начал внимательно изучать. Бросались в глаза электрические свойства этого камня, особенно то, что одновременно на нем обнаружались оба известные уже тогда заряда.

«Напоследок, — пишет он, — попался мне некоторый Электрическую силу имеющий камень, который сверх других удивительных свойств, потому мне примечания достоин показался, что действиями своими весьма сходствовал с магнитом. При сем случае возобновлялись во мне прежние мои рассуждения; начал я сравнивать обоих сил явления и, великий в деле сем получаю совет, уверен был, что уже не совсем безизвестно, каким образом действует натура, когда магнитные явления производит».

Наличие двух противоположных зарядов в одном и том же теле невольно наталкивало на мысль о «сходстве Электрической силы с магнитною»: два различных электрических заряда соответствовали двум противоположным магнитным полюсам.

Эпинус заметил сходство еще в следующем: «Всем известно, — пишет он, — что магнит удивительно щедростью особливо значен, и что магнитную силу железным телам сообщает без всякого ущерба сил своих, ибо магнит, хотя безчисленному множеству железных кусков свою сообщает силу, однако-ж никогда не примечено, что он сколько-нибудь силы своей потерял». Точно таким же свойством отличаются и наэлектризованные тела. Явление электрического влияния было известно задолго до Эпинуса и внимательно изучалось многими исследователями.

Изыскания Эпинуса не ограничивались одними наблюдениями. Он произвел большое количество опытов. Экспериментальные исследования привели его к выводу, что «законы по которым Электрическое притяжение и отталкивание производятся, весьма сходствуют с законами, в магните видимыми; а одинакие причины разных явлений производить не могут».

Эпинус приводит ряд фактов, позволяющих говорить не только о «неком союзе и исходстве магнитной силы, но и о сокровенном обеих сил точном

подобии». Он указывает на опыт Франклина, которому удалось «произведенную в лейденском сосуде молнию продолжать по железным прутьям, и, который увидел, что они от того получают нарочито великую магнитную силу».

Твердо убежденный в единстве электрических и магнитных сил Эпинус перенес теорию Франклина о природе и причинах электрических явлений также и на магнитные. Таким образом в конце 50-х годов

XVIII в. был сделан серьезный шаг к тому, чтобы перекинуть мост между такими силами природы как электричество и магнетизм.

Естественно-научное значение такого открытия может быть оценено лишь при сравнении с практическими результатами, вызванными к жизни учением об электромагнетизме. Это — современная электротехника, возникшая после того, как Фарадей удалось «превратить магнетизм в электричество».

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

Применение символического метода комплексных чисел при изложении теории переменных токов

С. Н. ШИПКОВ

Куйбышевский индустриальный институт

О рациональности применения символического метода комплексных чисел с самого начала изложения теории переменных токов автор этой заметки высказывался еще в 1936 г. в своей работе «Принципы изложения электротехники»¹.

В русских учебниках по теории переменных токов авторы (К. А. Круг, П. Л. Калантаров, И. Л. Каганов и др.) вводят в обиход символический метод лишь после некоторого предварительного ознакомления с этой теорией без помощи символического метода. Такой традиционный порядок изложения оказывает известное влияние на методику преподавания предмета во втузах.

Использование символического метода начинается в учебниках теории переменных токов обычно с некоторой специальной главы — «Символический метод». По расположению в учебниках и характеру материала этой главы все авторы оформляют ее примерно одинаково. После изложения некоторых сведений из теории комплексов показывается применение комплексов к ранее изложенной части теории переменных токов. Таким образом начальные сведения по теории переменных токов трактуются при помощи символического метода в порядке некоторого возврата к ним, а не в процессе систематического изложения. Затем, в той же главе показывается применение символического метода к теории и решению ряда задач (схемы Гумеля и Бушера, мосты Шеринга и Уитстона, метод суперпозиции, метод Гельмгольца и Тевенена, четырехполюсник, взаимная индуктивность и др.). Этот иллюстративный материал неоднороден и труден сам по себе. Для целей ознакомления с символическим методом он менее пригоден, чем сравнительно легкая и однородная начальная часть теории переменных токов.

Символический метод имеет свои особые права в электротехнике. Будучи одной из удобных форм математического описания физических процессов и одновременно средством удобным, надежным и точным в инженерных расчетах, он должен выступать с этими своими преимуществами с самого начала изложения теории переменных токов.

Ознакомление с основными положениями переменных токов сопровождается широким применением уравнения электрического равновесия.

В дифференциально-интегральной форме это уравнение имеет вид:

$$u = iR + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt, \quad (1)$$

В символической (комплексной) форме:

$$\dot{U} = iR + j\omega Li - j \frac{1}{\omega C} i. \quad (2)$$

Уравнение (1) более сложно для понимания. Логически понятное сложение трех физических величин часто неправильно ассоциируется у начинающих с простым сложением величин, так как производная $\frac{di}{dt}$ и интеграл $\int idt$ лишь косвенно обрисовывают истинный характер сложения величин

с учетом их фазовых сдвигов. Уравнение же (2) явно говорит о сдвиге фаз при распределении общего напряжения.

Одно уравнение (1) недостаточно ни для педагога ни для автора учебника. При разборе основных вопросов требуются многословные трактовки и оговорки, графические иллюстрации, выполнение которых сложно и длительно (например вычерчивание синусоидальных волн), а также пространные тригонометрические преобразования и записи. Например, вместо уравнения (1) приходится применять громоздкое тригонометрическое уравнение (3):

$$u = I_m R \sin \omega t + \omega L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) + \frac{1}{\omega C} I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right);$$

Простые же записи, вытекающие из уравнения (2), невозможны по незнакомству с ними.

Далее в самом начале курса теории переменных токов выступает вся специфика задач переменного тока. Своевременное изложение символического метода предохранило бы начинающих от характерных среди них ошибок, например арифметического сложения импедансов Z_1, Z_2, Z_3, \dots [вместо $Z = (R_1 + R_2 + R_3 + \dots) + j(X_1 + X_2 + X_3 + \dots)$], простого распределения сетевого напряжения U по участкам цепи [вместо распределения по соотношению $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dots + \dot{U}_n$] и т. д.

Наконец, улучшилась бы и структура курса, так как отпала бы надобность в специальной главе «Символический метод», содержание которой целесообразнее распределить по другим главам, причем действительно необходимые сведения из теории комплексов будут уместно излагаться в начале курса.

Все отмеченное безусловно совершенствует методическую часть курса теории переменных токов, но наши учебники еще не следуют по этому пути. Между тем некоторые иностранные учебники уже давно применяют символический метод в самом начале курса теории переменных токов².

Противники раннего применения символического метода опасаются, что эта «преждевременность» внесет путаницу в неустановившиеся знания начинающих. Это — не так. Конечно, уже и операции с векторными диаграммами, введенными с самого начала курса, представляют некоторое отвлечение, а именно, геометризацию физики процессов. Одновременно же применение с самого начала еще и символического метода, это дальнейшее отвлечение, так как вводится алгебраизация геометризированной физики. Здесь есть некоторый еще более далекий отход от физики изучаемых объектов явлений. Но при правильной методике обучения опасностей здесь нет. Все согласны с тем, что геометризация, вносимая векторными диаграммами, быстро осваивается и успешно способствует изучению физических процессов. Отсюда вполне последователен и уместен следующий естественный шаг вперед — сам собой напрашивающийся перевод геометризации на согласный с нею язык комплексных выражений.

Личным преподавательским опытом автор этой заметки удостоверяется в том, что применение символического метода с самого начала изложения теории переменных токов не вызывает никаких осложнений, если оно правильно организовано.

Организационно-методические мероприятия не сложны и сводятся к следующей последовательности: 1) контакта с кафедрой математики в отношении своевременного и, возможности, приспособленного к электротехнике прохождения теории комплексов; 2) краткое напоминание сведений теории комплексов в начале чтения теории переменных

¹ Работа представлялась в квалификационную комиссию НКТП при утверждении в звании доцента.

² Например, учебник M. Malti, Electric circuit analysis, John Wiley & Sons, New-York, 1930.

марксистского философского материализма, развитые Лениным в его гениальной книге «Материализм и эмпириокритицизм»; во второй половине производится анализ некоторых главных представлений новейшей физики, в частности, критикуются идеалистические установки по вопросу об исчезновении материи», разбирается как не соответствующее материалистическому мировоззрению отрицание принципа причинности и закона сохранения энергии и разоблачается имеющая иногда место в теоретической физике подмена концепции материи концепцией пространства.

Рассмотрение статей сборника с несомненностью показывает, что акад. В. Ф. Миткевич является материалистом.

Однако, не вдаваясь здесь в разбор философских воззрений акад. В. Ф. Миткевича, сошлемся на большую статью на эту тему А. А. Максимова, написанную по выходе 2-го издания рассматриваемой книги и напечатанную в журнале «Под знаменем марксизма» за 1937 г., № 7, а также на ряд критических заметок, помещенных во втором номере того же журнала за 1938 г. в статье «К дискуссии по физике».

Во всех этих статьях, наряду с указанием на материалистические взгляды акад. В. Ф. Миткевича, на его стремление встать на позицию диалектического материализма, на основательное изучение им трудов основоположников марксизма-ленинизма, имеются указания на ошибочность и противоречивость отдельных развиваемых им положений. В частности, приводятся указания на ошибочность трактовки роли и влияния методов математического анализа на физическое мыш-

ление и, в связи с этим, вопроса о реальности математических представлений, на неправильное освещение вопроса случайности и необходимости, на несоответствие действительности общего вывода об отношении идеализма к современной физике и на ошибки в трактовке универсальной сгды — эфира.

Указания критики в той или другой мере были учтены акад. В. Ф. Миткевичем, и в настоящем третьем издании они нашли свое отражение в подстрочных примечаниях и новых, не вошедших во второе издание статей.

Однако, независимо от того, что суждения по некоторым вопросам требуют еще дальнейшего уточнения и развития, говоря о выступлениях и статьях акад. В. Ф. Миткевича, необходимо сказать, что его борьба за материалистическое понимание физических явлений, «за искоренение идеалистических установок в области физического мышления», призыв к советским физикам «бороться в передовых рядах за диалектический материализм в науке и природе» и уверенность в том, «что современная волна идеализма в физической науке будет преодолена совместным усилием материалистически мыслящих представителей физики», являются фактами большой актуальности и требуют всемерной поддержки. В этом бесспорное положительное значение всех выступлений акад. В. Ф. Миткевича.

К. К. Попов
Ленинград

И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ. Молния. М.—Л. Академия наук СССР. 327 стр. 261 рис. 1940. 2000 экз.
Цена 18 руб.¹

За последнее десятилетие наука о молнии сделала огромные успехи, и хотя не все процессы, связанные с образованием и существованием этого явления, достаточно исследованы, однако, внешние характеристики и количественные параметры, его определяющие, выяснены в очень значительной степени. Можно смело сказать, что тайна, за которой скрывалось от человечества явление молнии, за последнее десятилетие разгадана, а тем самым нанесен смертельный удар и тому мистическому ужасу, который большинство людей испытывало (и, пожалуй, в некоторой мере еще испытывает) перед молнией.

В работе по изучению молнии, давшей столь плодотворные результаты, активное и продуктивное участие принимал автор книги, что, естественно, накладывает на ее содержание определенный отпечаток.

Работая в области изучения молнии более 10 лет, И. С. Стекольников собрал огромный экспериментально-теоретический и литературный материал и критически его переработал. Это позволило ему дать не простую сводку литературных данных (чем прешили некоторые из его более ранних работ), но систематическое изложение вопроса, освещенное с точки зрения выработанных автором оригинальных взглядов и обогащенное его собственным опытом. Он не только излагает взгляды различных ученых на затрагиваемые им вопросы, но в большинстве случаев сопровождает это изложение серьезной критикой и выдвигает ряд своих положений, стараясь всемерно их обосновать.

Ряд глав книги представляет несомненную ценность и большой интерес. Таковы гл. II «Аппаратура и методы измерения параметров молнии», гл. IV «Результаты экспериментальных исследований молнии», гл. VIII «Избирательная поражаемость земной поверхности молнией» и гл. X «Методы грозозащиты в прошлом и в свете современных представлений».

Материал, собранный в этих главах, в значительной степени представляет результаты работ и исследований автора и его сотрудников как в лабораторных условиях, так и в экспедициях, организованных Энергетическим институтом Академии наук СССР под руководством автора. Можно сказать, что в этих главах собран наиболее важный и ценный фактический материал, относящийся к вопросу об изучении молнии. И хотя качество остальных глав уступает качеству вышеуказанных, все же следует признать книгу ценной и полезной.

К числу недостатков книги нужно отнести: не вполне систематичное, нередко небрежное изложение; недостаточность освещения некоторых вопросов, заслуживающих внимания; некритическое изложение некоторых теорий, спорность отдель-

ных положений автора и, наконец, много мелких ошибок и опечаток.

Книга начинается с краткого введения, за которым следует глава I «Исторический обзор», занимающая 8 стр. Казалось бы, при наличии специальной главы, посвященной историческому обзору вопроса, не приходится ожидать дополнительных исторических материалов в других главах. Однако это не так. Почти в каждой из последующих глав (исключение представляют главы VI и VII) имеется свой исторический обзор. Стройность изложения, безусловно, выигрывает, если бы был систематически проведен один из двух принципов: или сосредоточение всего исторического материала в одной главе, или же распределение его по всем главам с ликвидацией первой главы.

Остановимся на вопросах, недостаточно освещенных в книге.

В главе III «Образование гроз» обойдена молчанием теория грозы R. Gupp. Между тем, эта теория является единственной, которая базируется не только на общих физических представлениях о грозе, но и на некоторых количественных данных, дающих возможность хотя бы частичной численной проверки теории, что придает ей особый интерес.

Говоря о механизме развития молнии, автор не упоминает о теории канала молнии, предложенной Ollendorf. Некоторые данные из работы Ollendorf автор приводит, но было бы полезно дать более полное и систематическое изложение этой теории.

Ценной стороной рассматриваемой книги в целом является большое количество приведенного в ней фактического материала. Но в § 1 гл. VIII автор изменил себе и дал слишком мало описаний случаев избирательной поражаемости.

Вопрос об избирательной поражаемости деревьев автор касается лишь вскользь и для характеристики его приводит случайные цифры.

В главе IX очень поверхностно затронут вопрос о физическом действии токов молнии.

В большинстве случаев автор очень внимательно относится к излагаемым им теориям и взглядам иностранных ученых и подвергает их заслуженной критике. В некоторых случаях, однако, эта критика не дана, хотя она и необходима. Так, например, на стр. 133—136 автор дает вывод уравнения Герца (хотят сказать, хорошо известный из учебников по теоретической электротехнике), которым пользовался в своих работах Нориндер (уравнение 11), но при этом автор не указывает, что пользование уравнением Герца в данном случае недопустимо, так как это уравнение есть уравнение диполя, следовательно, оно имеет силу только при условии, когда двойная длина молнии значительно меньше расстояния от молнии до рассматриваемой точки. В опытах Нориндера это условие обычно не выполнялось, а потому и выводы, кон-

¹ Рецензия представлена информационно-библиографическим сектором Гос. научной библиотеки.

делает Нориндер, пользуясь этим уравнением, неверны. Все того, если бы и можно было с некоторым, хотя и бым приближением воспользоваться этим уравнением, то бы при условии, что разряд молнии происходит мгновенно. Но разряд молнии происходит с конечной скоростью, том заметно меньшей, чем скорость света, что совершенно искажает результаты, получаемые с помощью вышеуказанного уравнения Герца.

Задачу Нориндера следует решать, представляя молнию идею ряда последовательно включенных элементарных дуг и с учетом скорости распространения тока в канале молнии. С помощью такого анализа автор мог бы убедиться, что указываемая им (стр. 146) наибольшая величина тизны тока молнии, полученная в результате измерений с ками, несомненно, преуменьшена. Правда, автор тоже считает ее ненадежной, но по другим соображениям.

В таком же положении находятся приводимые автором (стр. 258) результаты выполненного Айгнером расчета нажения, индуктируемого электромагнитным полем тока молнии. Айгнер в своем расчете не учитывает конечной скорости распространения электромагнитного поля молнии и конечной скорости распространения тока в канале молнии. Поэтому полученные Айгнером величины индуктированных нажений сильно преувеличены.

В числе спорных положений, выдвигаемых автором, относительно положение о решающем значении лидерного процесса в вопросах грозозащиты (стр. 174). Правда, высказывания автора по вопросу о высоте ориентировки молнии в рассматриваемой книге осторожнее, чем в более ранних его работах; но, несомненно, что он считает эту высоту значительно ниже, чем высота облака. Это положение очень важно, и большое количество фотографий, сделанных на молниях автором и его сотрудниками (см., например, Труды ИИ, вып. 36, 1940), свидетельствует скорее об обратном положении. Из этих фотографий следует, что подавляющее большинство разрядов направляется от модели облака прямо к молниевыводам, в то время как только небольшое количество имеет первоначально вертикальное направление, с резким поворотом его затем по направлению к молниевыводам.

Из недостатков, общих всей книге, следует еще отметить странную смесь международных и русских обозначений единиц измерения. Так например, единицы длины и веса (см., км., кг) автор употребляет в русском написании, а электрические единицы (V , N , Ω) — в международном, причем только для кулона сделано исключение — он пишется по-русски. Но и эта система строго не выдержана. В одном и том же обозначении применяются международные и русские символы. Такая путаница, конечно, недопустима, тем более, что ОСТ совершенно определенно указывает на необходимость придерживаться международных обозначений.

Помимо указанных недостатков имеется значительное количество мелких замечаний по отдельным главам книги. В качестве примера приведем следующие.

Стр. 10. Ни Кулон, ни Лаплас, ни Гей-Люссак, ни Френель не могли делать докладов во Французской Академии в 1881 г., так как они все умерли значительно раньше этого года.

Стр. 72. В Советском Союзе принята метрическая система единиц. Поэтому не следует пользоваться масштабными делениями, выраженными в дюймах (рис. 79).

Стр. 75. На рис. 83 неверны обозначения. Должно быть: $a = 21,3$ (вместо $a = 1,3$) и $a = 22,5$ (вместо $a = 2,5$).

Стр. 90. На рис. 100 не указаны переключатели A , B , C и D .

Стр. 240. Для обозначения одних и тех же величин применяются сначала буквы T и Q , потом ΔT и ΔQ , а затем снова появляется T .

К этим мелким замечаниям следует добавить более чем 30 опечаток, замеченных нами (сверх указанных в списке опечаток, приложенном к книге).

В заключение следует еще раз подтвердить ценность книги, которая лишь в некоторой мере снижается указанными мною дефектами.

А. М. Залесский

Ленинградский индустриальный институт

ОПФМЮЛЛЕР К. Введение в теоретическую электротехнику¹. Kupfmüller, K. Einführung in die theoretische Elektrotechnik, 2 verb. u. erw. Aufl. J. Springer. 1939, 343 S., 358 Abb.

Рецензируемая книга, вышедшая вторым изданием, занимает среди многочисленных учебников по теоретической электротехнике на немецком языке особое место как по расположению материала, так и по методу изложения.

Автор начинает изложение с цепей постоянного тока, а затем переходит к рассмотрению электрического поля и магнитного. Автор сначала останавливается на явлениях статического поля, а потом разбирает явления, имеющие место при медленном изменении этих полей.

Следующая глава посвящена разветвленным цепям переменного тока, четырехполюсникам и цепным схемам. Там же описывается действие электронных ламп в качестве выпрямителей и усилителей. Далее дается теория длинных линий. Последняя глава отведена быстропеременным полям, а именно — уравнениям Максвелла в общем виде и электромагнитным волнам. В последней главе описаны нестационарные явления как в линейных системах, так и в системах с переменными параметрами, зависящими от тока или напряжения.

Изложение материала отличается четкостью и ясностью. Большое внимание уделяется физической стороне явлений. Автор широко использует графоаналитический и, в частности,

сти, векторный метод изложения, однако, математические выводы играют лишь вспомогательную роль, благодаря чему книга читается необычайно легко. Все количественные соотношения основаны на практической системе электрических единиц с проведением разницы между понятиями магнитной индукции и напряженности магнитного поля не только в намагничиваемой среде, но и в вакууме, и аналогично с этим — между понятиями электрического смещения и напряженности электрического поля. Благодаря применению рационализированной практической системы электрических единиц, уравнения, относящиеся к объемным токам, электрическому и магнитному полю, приобретают однородный вид и поэтому легко запоминаются. В конце отдельных параграфов приведены задачи с решениями, которые дают представление о порядке значений отдельных величин, с которыми приходится иметь дело на практике.

По общему направлению своего содержания книга скорее предназначена для лиц, изучающих технику проволоочной связи; тем не менее она может служить весьма полезным пособием и при изучении техники сильных токов.

Было бы весьма целесообразно и полезно перевести эту книгу на русский язык.

К. А. Круг

Академия наук СССР

¹ Рецензия представлена информационно-библиографическим сектором Гос. научной библиотеки.

Суммарная емкость водохранилищ (по энергии) в ближайшие годы достигнет 20% общей годовой выработки электроэнергии на всех гидростанциях.

В текущем году потребление энергии составит 10 000 mill. Wh (вдвое больше чем в 1933 г.), из которых на долю аровых станций приходится около 10%.

Широкие возможности регулирования на шведских гидро-станциях позволяют им работать также и в качестве пиковых.

М. С. Добрин

G. Barby. Новый мощный гидрогенератор гЭС Харьявалта. *VDI. Ztschr. № 25, 1940.*

Для гидростанции Харьявалта, сооруженной на р. Кумо, остроены вертикальные генераторы зонтичного типа мощностью 42 MVA, 10,5 kV, 150 об/мин. ГЭС Харьявалта предназначена снабжать электроэнергией районы Западной Финляндии по линиям передачи, работающим при напряжении 70 и 120 kV. Генераторы могут развивать 20 MVA активной мощности при 10 kV и $\cos \varphi = 0$. Гидрогенераторы приводятся в действие турбинами Каплана.

Статор сварной конструкции выполнен разъемным из трех частей и несет двухступенчатую обмотку новой конструкции. Для приведения в действие маятника регулятора впервые применен особый электрический генератор с постоянными магнитами, практически себя хорошо оправдавший.

Вес главных деталей гидрогенератора следующие: главного вала — 40 т; собранного ротора — 200 т; статора — 90 т; нижней поддерживающей крестовины — 35 т; всей машины — около 400 т.

Н. А. Караулов

H. Nowald. Использование р. Теннесси. *Bull. ASE № 12, 1940.*

Администрация по использованию р. Теннесси (TVA), состоящая в непосредственном ведении правительства США, уже лет ведет обширные работы в области гидроэнергетики, водного транспорта, защиты от наводнений, мелиораций почв и т. д.

Гидроэлектростанции TVA по мысли авторов проекта должны служить своеобразным масштабом «Yardsticks» для выявления действительных показателей энергетической эффективности ГЭС.

Бассейн р. Теннесси достигает 108 тыс. км², из которых около 40% покрыты лесами. Средний расход воды реки близ ее устья составляет 1450 м³/сек. Население составляет 2,25 млн. человек, причем только два города имеют население более 100 тыс. человек каждый. Промышленность развита слабо. По проекту, при полном развитии схемы, в бассейне р. Теннесси должно быть возведено всего 11 узлов сооружений.

Суммарная располагаемая мощность ГЭС TVA первой очереди составляет 700 MW, а при полном развитии — 1500 MW с выработкой энергии около 3600 MWh. Сооружение гидроэлектростанций осуществлено на новейшем техническом уровне. Так ГЭС Норрис, оборудованная двумя вертикальными агрегатами по 56 MVA при 125 об/мин, интересна как современная американская ГЭС, типичная для диапазона напоров 50—150 м. В соответствии с принятой системой регулирования, длительное время может работать только один из агрегатов. Поэтому каждый из них, во избежание больших железных потерь в трансформаторах и вследствие повышенной грозоопасности района, располагает отдельной группой трансформаторов. Выключатели имеются только на стороне повышенного напряжения — 154 kV: две группы трансформаторных масляных выключателей и одна группа линейных выключателей, установленных на отдельной открытой подстанции. Низконапорная ГЭС Уилер характерна открытым расположением агрегатов, обслуживаемых порталным кра-вном.

Н. А. Караулов

12 лет эксплуатации машин с водородным охлаждением. *Power № 3, 1940.*

Семь синхронных фазокомпенсаторов общей мощностью 161 000 kVA с водородным охлаждением проработали уже 12 лет 90% общего фонда времени. Время на простой и ремонт составило 4%, в том числе на неполадки, связанные с системой водородного охлаждения, — 1,2%.

Два турбогенератора — один 50 000 kVA и другой 66 667 kVA — с водородным охлаждением работают уже более 2 лет и до сих пор не ставились на ревизию.

Стоимость потребляемого водорода составляет не более 5% от экономии, получаемой за счет уменьшения вентиляционных потерь.

Система водородного охлаждения не вносит никаких сколько-нибудь заметных осложнений в обслуживание и обеспечение безопасности. В пяти случаях она применялась к машинам, установленным на открытом воздухе и бесперебойно работающим в среднем уже по 9 лет каждая в самых разнообразных условиях погоды. Мощность синхронных фазокомпенсаторов при водородном охлаждении повышается на 25% по сравнению с мощностью при воздушном охлаждении. Применение водорода при повышенном давлении (до 1,2 kg/cm²) дает дальнейшее увеличение мощности на 20%. Кроме того, повышаются пиковые мощности, так как водород обладает свойством быстро отводить тепло от отдельных мест сильного перегрева обмоток.

Срок службы изоляции обмоток в водороде значительно повышается, так как они не подвергаются действию окисления и короны, имеющих место в воздушной среде. Все дополнительные расходы на взрывобезопасное исполнение и водородную установку с избытком перекрываются за счет уменьшения габаритов (при той же мощности) и экономии на потерях.

Генеральная ревизия машин с водородным охлаждением требуется один раз в пять лет.

М. С. Добрин

W. F. Skeats и W. Saylor. Выключатель большой мощности с водяным дутьем для центральных станций¹. *El. Eng. № 2, 1940.*

Новый тип выключателя создан на базе старого шестицилиндрового выключателя ГЭС, типа Н, путем внесения некоторых изменений для применения в нем воды вместо масла. Все размеры, общая конфигурация, цилиндры и механизм выключателя остались прежними. В выключателе добавлено чрезвычайно интересное приспособление для улучшения гашения путем удлинения дуги при малых токах и укорочения ее при больших. Приспособление состоит из пакета железных пластин, закрытого со всех сторон изолирующим материалом и представляющего собою перегородку, вставляемую между неподвижным искровым контактом и камерой дутья.

Форма сердечника такова, что закрытый конец его имеет сравнительно малое магнитное сопротивление при малых токах.

Магнитное сопротивление открытого конца благодаря большому воздушному промежутку почти не зависит от силы тока в дуге. Благодаря такому устройству сердечника, дуга при малом токе устремляется к его закрытому концу, удлиняясь при этом вследствие соответствующей конфигурации неподвижного искрогасительного контакта, при больших же токах дуга быстро перемещается к открытому концу сердечника, переходит на металлическую планку и становится от этого весьма короткой.

Другой особенностью этого выключателя, отличающего его от масляного выключателя типа Н, является то, что ци-

Таблица

Максимальный уровень воды		Минимальный уровень воды	
сила тока в А	длительность дуги в периодах	сила тока в А	длительность дуги в периодах
1 200	2,1	1 200	1,5
4 300	1,5	4 000	1,3
9 900	1,6	10 000	1,1
14 300	1,3	20 000	1,2
19 600	1,3	21 000	1,0
26 000	1,3	24 000	1,0

¹ В течение последнего времени в американской печати появилось много статей, заметок и объявлений различных фирм о выпущенных ими выключателях без масла. Из этого материала видно, что вопрос о замене масла в выключателях другой, безопасной гасящей средой является в настоящее время и в Америке достаточно злободневным. ГЭС выпустила уже 3 различных типа выключателей без масла — выключатель с сжатым воздухом, выключатель с магнитным дутьем и водяной выключатель. Вестингауз имеет, кроме своего старого деонного выключателя, также выключатель с сжатым воздухом. Выключатели с сжатым воздухом строятся также фирмой Allis-Chalmers. При м. реф.

линдры не имеют никаких отверстий и труб для выпуска паров и газов, так как процесс разложения и испарения воды под действием дуги является обратимым процессом, и пары и газы, образовавшиеся при отключении, снова превращаются в воду.

Весьма интересны в новом выключателе главные контакты линейного типа, рассчитанные на 600 и на 1200 А.

Все части, находящиеся внутри цилиндров, изготовлены из материалов, не изменяющихся под действием воды. В таблице указана продолжительность дуги при различных токах и при различных уровнях воды.

Водяные выключатели на 500 MVA уже больше года находятся в эксплуатации. Пробные экземпляры выключателей на 1000 и 1500 MVA дали при испытании удовлетворительные результаты.

Л. Б. Броуде

E. W. Bochné, L. J. Linde. Воздушный выключатель с магнитным дутьем для 5000 V. *El. Eng.* № 4, 1940 и *GER* № 9, 1939.

Для магнитного дутья в новом безмасляном выключателе применены 3 катушки, автоматически включающиеся по мере перемещения дуги по искровым контактам. Дуга выдувается в камеру из огнестойкого изоляционного материала, где она удлиняется, проходя по зигзагообразному просвету между выступами обеих половин камеры. При этом дуга сильно охлаждается от соприкосновения со стенками камеры и настолько деионизируется, что гаснет при прохождении тока через нуль. Выключатель может быть применен в цепях с любой скоростью и высотой восстанавливающегося напряжения, так как вследствие сильного охлаждения и удлинения дуги ее сопротивление значительно увеличивается, причем уменьшаются как сила тока, так и сдвиг фаз. Износ частей выключателя настолько незначителен, что выключатель может быть применен для частого отключения.

Разрывная мощность выключателя равна 100 MVA.

Л. Б. Броуде

Новые выключатели Вестингауза. *El. Eng.* № 1, 1940; *El. Eng.* № 8, 1939; *El. Eng.* № 4, 1940.

Деионный выключатель Вестингауза является первым мощным сухим выключателем, однако, несмотря на это, он не получил до настоящего времени широкого распространения, так как не может быть изготовлен для напряжений выше 15 000 V и не может достичь американского предела мощности 1500 MVA: уже при половине этой мощности гасительное устройство получается очень дорогим и тяжелым.

Другим интересным типом выключателей Вестингауза является выключатель с сжатым воздухом. В марте текущего года в присутствии более 200 представителей потребителей и промышленности происходила демонстрация нового выключателя Вестингауза, работающего сжатым воздухом. Были произведены отключения, начиная от номинального тока в 2000 А до полной разрывной мощности в 1500 MVA при 13 200 V. Во всех случаях дуга разрывалась при первом же переходе тока через нуль. Восстанавливающийся напряжение не превосходило двойного номинального. В выключателе применено поперечное дутье, причем дуга выдувается в гасительную камеру с рядом изолирующих пластин.

Л. Б. Броуде

W. W. Lewis и C. M. Foust. Исследование молнии на линиях электропередачи. *El. Eng.* № 4, 1940.

С помощью магнитореистраторов авторы исследовали токораспределение в опорах, заземленных тросах, проводниках и противовесах и определяли величины токов прямого удара молнии.

На рис. 1 изображена кривая токов, протекающих в опорах и в канале молнии. Кривая построена по 734 разрядам, поразившим в течение четырех лет линии электропередач 66—230 kV. Токи в опорах находились сложением токов, протекавших в четырех ногах, без учета токов в перемычках и связях опор. Ток в канале молнии определялся простым суммированием токов в опорах. Поместив реистраторы на связях и перемычках опор, авторы обнаружили, что через эти элементы может протекать от 30 до 100% тока, идущего по ногам опоры, в зависимости от того, как был распо-

ложен противовес, присоединенный к основанию опоры. Чтобы проверить справедливость определения тока разряда суммированием, были установлены магнитореистраторы на молниеприемниках опор и тросах.

Меньший процент больших токов в молниеотводах и тросах авторы объясняют тем, что часть токов оказалась выше предельного тока регистрации, а данные, отнесенные к одному удару в действительности, могли относиться к разным разрядам. Из 736 ударов в линию 685, или 93%, были отрицательной полярности, а остальные положительной. При этом часть ударов ниже 5000 А магнитореистраторами не всегда улавливалась.

Среднее значение тока, приводимое авторами, — 150 000 А. Сравнение токов (разных полярностей), притекающих к

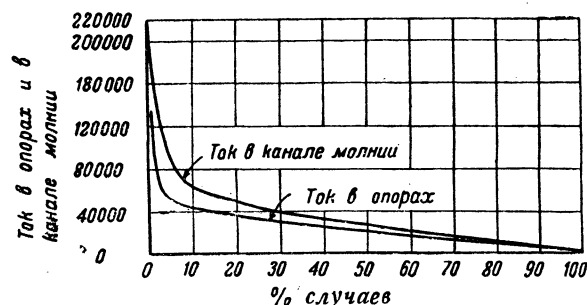


Рис. 1

молниеотводу или тросу и оттекающих от вершины опоры показывает, что эти токи примерно одинаковы в 25% случаев (из 72 записей); притекающие токи превышают оттекающие в 50% случаев и оттекающие токи превышают притекающие в 25% всех случаев.

Анализируя полученные записи, авторы предполагают, что подобного рода расхождение данных может быть вызвано 1) перекрытиями при близких ударах, 2) протеканием высоких токов в тех частях сооружений, где магнитореистраторы установлены не были, 3) недостаточно точной расшифровкой записей колебательных волн тока, 4) неодновременностью протекания максимальных токов в различных частях сооружений.

Регистраторы, установленные по обоим концам троса, давали записи, согласующиеся в 70% всех случаев, с током в 25%.

В остальных 30% были отклонения в ту или другую сторону. Закладывая в песчаную почву непрерывные (параллельные) и радиальные противовесы и комбинируя их соединения с опорами, а также, найдя при помощи магнитореистраторов токораспределение в заземляющих устройствах (вместе с основаниями опор), авторы оценивали эффективно сопротивление противовеса. Подобного рода оценку легко произвести, зная, по измерению, сопротивление заземления основания опоры.

Кажущееся сопротивление одного непрерывного противовеса, в одном случае, авторами оценивается в 50 Ω , при сопротивлении заземления основания мачты в 69 Ω .

Система четырех радиальных противовесов, по 15 м длиной, имеет кажущееся сопротивление 47 Ω . Система радиальных противовесов, состоящая из трех противовесов по 15 м и одного противовеса 75 м, обладала сопротивлением в 39 Ω , тогда как основание опоры имело 91 Ω . Через длинный противовес протекало 68% тока, идущего через всю систему противовесов, или 72% тока, идущего по ногам, к которой присоединялся длинный противовес.

Авторами подробно описывается токораспределение между различными комбинациями противовесов и основаниями опор.

Авторы приходят к выводу, что в случае поверхностного толстого песчаного слоя, под которым лежит суглинок, эффективнее оказываются глубоко забиваемые заземляющие стержни.

Эффективность непрерывных и радиальных противовесов в этих экспериментах оказалась одинаковой.

В. С. Комелько

Нормы для высоковольтных аппаратов переменного тока. VDE 0570. ETZ № 8, 1940.

Содержание публикуемых правил представляет проект изменений норм, действующих с 1 июля 1937 г.

Номинальные нормируемые напряжения — 1, 3, 6, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 110, 150, 220, 400 kV.

Максимальное рабочее напряжение в месте установки аппарата может превосходить номинальное напряжение не больше чем на 15%.

В местностях, где существует опасность загрязнения изоляции, изоляцию аппаратов наружной установки целесообразно выполнять со специальной формой юбок. Вместо этого можно установки выполнять внутренними, с принятием специальных мер против проникновения грязи, посредством озонирования небольшого повышения давления.

Нормированные номинальные токи — 200, 400, 600, 1000, 000, 4000, 6000 А. Наибольший рабочий ток не должен превосходить номинальный больше чем в течение 15 мин.

Для предохранителей нормируются номинальные токи 2, 4, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600 А. Каждый выключатель и разъединитель мощности должен выключать номинальный выключающий ток и любой меньший при $\cos \varphi \leq 0,15$ при номинальном восстанавливаемомся напряжении.

Нормируются следующие разрывные мощности 5, 15, 100, 00, 400, 600, 1000, 1500, 2500 MVA (5 и 15 — только для разъединителей мощности).

В проекте приведены нормированные электрические расстояния.

Испытательные и разрядные напряжения при 50 Hz приведены в таблице, причем графы 2 и 3 относятся к изоляции на корпус и между фазами.

Для аппаратов наружной установки напряжения испытательное и разрядное относятся к испытанию под дождем. У аппаратов, снабженных защитными промежутками, последние на время испытания снимаются.

Т а б л и ц а

Класс напря- жения kV	Испыта- тельное	Разрядное	Испыта- тельное	Разрядное
	напряжение всех аппа- ратов, kV _{eff}		напряжения для отклю- чающих промежутков разъединителей, разъ- единителей мощности и предохранителей	
1	10	11	15	17
3	27	30	30	33
6	33	36	40	44
10	42	46	53	58
20	64	70	86	95
30	76	95	119	131
(45)	119	131	169	186
60	152	167	218	240
110	262	288	383	421
150	350	385	515	567
220	504	555	746	821
400	900	990	—	—

До испытания при 50 Hz определяется импульсное разрядное напряжение по 50% методу (30 VDE 0450, XI, 1939) при обеих полярностях волны 1/50 μ sec в следующих положениях:

а) Для коммутационных аппаратов — во включенном положении относительно земли и между фазами, причем в одном случае заземляются крайние фазы, в другом — средние; в отключенном положении между разомкнутыми концами одного и того же полюса.

б) Для опорных и проходных аппаратов при заземленном фланце. На аппаратах, снабженных искровыми промежутками, последние во время испытания снимаются.

Приводимый выше проект интересно сравнить с проектом ОСТ на разрядные и испытательные напряжения, 5-я редакция которого опубликована в журнале «Электричество» № 3, 1940 г.

При сравнении можно отметить следующие главные особенности:

1. В Германии не нормируют сухое разрядное напряжение при 50 Hz, а довольствуются нормированием мокрого; по нашему мнению это мероприятие правильное.

2. В Германии разрядное напряжение между разомкнутыми контактами одного и того же полюса выключателя — такое же, как и для изоляции на корпус.

По нашему мнению рационально в окончательной редакции ашего ОСТ нормировать одинаковые разрядные напряжения на корпус и между разомкнутыми полюсами. Это мероприятие даст большой экономический эффект для современных типов выключателей.

3. Расстояния между фазами для аппаратов, снабженных защитными промежутками, в Германии допускаются пони-

женными до величины защитного промежутка. Это также рационально, особенно если учесть, что вследствие электромагнитной связи при волне на одном проводе в соседнем индуцируется напряжение того же знака, равное около 20% от амплитуды основной волны, что соответственно на 20% уменьшает разность напряжения между фазами.

4. Величины импульсных разрядных напряжений для напряжений 20—110 kV значительно ниже, чем на 5-й редакции нашего ОСТ, а для напряжений 3—10, 150—220 kV примерно равны значениям 5-й редакции, причем в Германии нормируется лишь 50% разрядное напряжение.

Следует отметить также, что 50% разрядное напряжение несколько выше минимального по катодному осциллографу по 5-й редакции.

5. Величины мокроразрядных напряжений в Германии выше, чем по 5-й редакции ОСТ, правда, при несколько иных условиях испытания.

Е. В. Калинин

С. Flurscheim. Новый масляный выключатель для сельского хозяйства. М. — В. Газ. № 12, 1939.

Рассматривая требования к электрическим характеристикам сельскохозяйственных выключателей, автор приходит к выводу, что существующие нормы уровня изоляции (27 и 75 kV в течение одной минуты для 11 и 33 kV) недостаточны.

Большое внимание должно быть также уделено механической прочности конструкции выключателя, обычно помещаемого на опоре воздушной линии, что затрудняет надзор за ним. Выключатель следует монтировать на раме, не связанной с корпусом, и предусмотреть, чтобы толчки при повторных выключениях не отражались на выдержке времени. Уменьшения числа ампервитков выключающей катушки следует достигать не за счет облегчения передвигания защелки, а за счет улучшения магнитной цепи катушки. Съем бака, осмотр и замена контактов должны быть максимально облегчены. Для серьезного ремонта необходимо обеспечить возможность замены всего выключающего устройства запасным.

Вновь выпущенный масляный выключатель для сельского хозяйства типа Г. Р. С. в основном удовлетворяет приведенным выше требованиям. Рама аппарата из листовой стали соединяется со съемной крышкой, к которой на двух болтах прикрепляется бак выключателя (рис. 1). Рама аппарата имеет сверху наклонные плоскости с укрепленными на

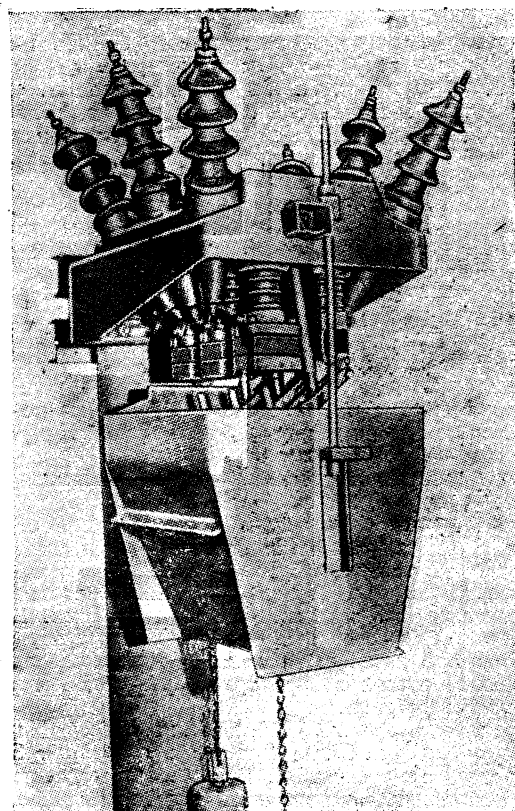


Рис. 1. Масляный выключатель для сельского хозяйства (с опущенным баком)

каждой из них тремя фарфоровыми бушингами либо кабельными муфтами. К основной раме прикреплена вспомогательная. На этой раме устанавливается весь механизм выключателя. Таким образом повреждения кожуха не передаются механизму. На вспомогательной раме установлены шесть фарфоровых опорных изоляторов. На трех из них помещены камеры, в которых происходит разрыв дуги, а на трех — расцепляющие катушки и шарниры контактов.

При испытаниях выключатель осуществлял выключение на 11 kV при токе от 10 до 100% от номинального разрывного в течение трех периодов: из этого времени половину составляет время горения дуги. При меньших токах время выключения удлиняется, что дает возможность запускать электродвигатели. Так например, при нагрузке в 130% от номинального время выключения составляет 5 sec.

Выключатель выдерживает в течение минуты 50 kV. Импульсная прочность 140 kV при $1/50$ положительной волны. Перекрытие происходит во внешних частях. Это весьма высокая величина для выключателя с малым объемом масла, составляющим 43,5 л.

Выключатель имеет ручное управление и автомат для повторного включения.

И. А. Будзко

Шум трансформаторов. *The Electrician*, № 3227, 1940, *El. Review* № 3254, 1940, *The Electrician* № 3217, 1940.

В последнее время в английской периодической литературе уделяется значительное внимание проблеме уменьшения шума трансформаторов. Указывается на то, что проблема шума трансформаторов и его ограничения приобретает существенное значение в связи с развитием строительства открытых подстанций в населенных местах наряду с увеличением мощности трансформаторов.

Изучение шума началось еще в 1934 г. в Университетской лаборатории при поддержке Электрической исследовательской ассоциации (E. R. A.), а также проводилось отдельными фирмами.

Рядом исследователей установлено, что основной причиной возникновения шума является не вибрация от действия магнитных сил, как думали раньше, а магнетострикция. Шум исходит от вибрации, порожденной изменением длины и площади листов магнитопровода, возникающим при намагничивании. Поэтому наиболее эффективным средством уменьшения шума трансформаторов является создание стали с уменьшенной магнетострикцией. В этом направлении пока успехов не достигнуто. Исследования показали, что усиление прессовки магнитопровода не даст также заметного снижения шума.

В конце марта текущего года инженерами фирмы Метро-Виккерс В. G. Churcher, A. I. King был представлен Институту инженеров электриков обширный доклад, содержащий исследования шума трансформаторов и результаты опытов по его снижению. Исследованиями установлено, что при практически синусоидальном токе вибрация магнитопровода происходит с двойной частотой по отношению к рабочей.

Установлена необходимость тщательного выполнения стыков магнитопроводов и равномерного распределения прессующих усилий достаточно жесткими плитами.

Для выяснения влияния стыков на шум трансформатора доктором Billig были проведены испытания трансформатора с кольцевым сердечником до полного его насыщения. При этом был слышен слабый шум. Это доказывает большое влияние стыков.

Обмотки и отводы не дают сколько-либо заметного шума. Авторы исследовали более радикальные внутренние и внешние способы уменьшения шума.

Наиболее простым средством является уменьшение насыщения стали, однако, это неприемлемо по экономическим соображениям. Может быть получен эффект также от устройства между выемной частью и баком барьеров, задерживающих прохождение звуковых волн. Наиболее целесообразно применение эластичных барьеров. Выемная часть должна быть установлена на неметаллических подставках. Недостатком применения барьеров является необходимость увеличения размеров бака. В качестве внешнего способа было исследовано применение стенок вокруг трансформатора, которое дает положительные результаты.

Над трансформаторами 75 000 kVA на подстанции Fulham были сооружены кирпичные будки без отверстий. Эта мера оказалась весьма эффективной. Все же авторы считают, что, если по общетехническим причинам нет необходимости в постройке здания, для ограничения шума целесообразнее применять барьеры и увеличение размеров бака. При постройке вокруг трансформаторов стенок охлаждающие элементы должны быть вынесены за стенки.

В дискуссии по докладу приведены мероприятия по уменьшению шума трансформаторов, проводившиеся Центральным Электротехническим Советом (Central Electric Board) и другими организациями: была применена обшивка бака стеклянной ватой, антивибрационные фундаменты и увеличение жесткости баков; первые два мероприятия были эффективными, последнее оказалось бесполезным.

В закрытых помещениях должно обращаться внимание на получение достаточной плотности и хорошей пригонки окон и дверей, так как при отсутствии этого теряется звуковая изоляция.

Одно из выступлений в дискуссии по докладу Н. М. Ласпаче указывает пути получения стали с малой магнетострикцией. Указывается, что сплав железа и никеля с содержанием никеля в 81% не имеет магнетострикции. Железо, содержащее 4,45% кремния, имеет положительную магнетострикцию, тогда как при содержании кремния в 8% железо имеет отрицательную магнетострикцию. Повидимому, представляется возможным получить наиболее желательную характеристику для кремнистого железа. Отмечается также, что материал, имеющий магнетострикцию, имеет минимальные потери.

В заключение авторы указывают, что абсолютная величина магнетострикции не является единственным фактором в создании шума. Возможно, что имеются другие факторы, например, неравенство величины магнетострикции у отдельных листов, вызванное изменением проницаемости стали неравномерного нагрева листов.

Авторы отмечают, что в отношении трансформаторов мощностью меньше 1000 kVA не наблюдается жалоб на повышенный шум.

А. В. Корицкий

О. К. Marti, T. A. Taylor. Форма кривой тока и напряжения 30- и 60-фазных выпрямительных групп. *El. Eng. стр.*, 218—226, № 4, 1940.

Как известно, работа выпрямителей вызывает искажение формы кривой тока и напряжения питающей их сети. Степень этого искажения является функцией мощности выпрямителей числа фаз их, импеданса, для гармонических частот питающей сети и нагрузки выпрямителя. Так как большинство выпрямительных трансформаторов имеют шестифазное соединение, при котором фазовые напряжения сдвинуты 60° по отношению друг к другу, то можно считать, что вторичной стороне трансформатора напряжение содержит 5- и 7-ю гармонические. Для увеличения числа фаз необходимо так изменить трансформаторные соединения, чтобы сдвиг фаз между напряжениями составлял менее 60°. При уменьшении сдвигания угла сдвига, параллельной работы скольких шестифазных выпрямителей с соответствующим сдвигом фазовых напряжений и т. п., число фаз может быть увеличено, равно как и наиболее низкой порядок гармонической в питающей сети (см. таблицу), что уменьшает влияние их на искажение кривых.

Эквивалентное число фаз выпрям.	Угол сдвига между напряжениями, приложенными последовательно к горячим анодам	Низший порядок гармоник в сети переменного тока	Эквивалентное число фаз выпрям.	Угол сдвига между напряжениями, приложенными последовательно к горячим анодам	Низший порядок гармоник в сети переменного тока
6	60	5,7	30	12	29,31
12	30	11,13	36	10	35,37
18	20	17,19	48	7,5	47,49
24	15	23,25	60	6	59,61

Недавно американская алюминиевая компания установила для целей электролиза ряд выпрямителей общей мощностью 82 500 kW на заводах в Alcoa и Massena. Выпрямители Alcoa были установлены на двух станциях мощностью 27 500 kW. Каждая станция включает пять выпрямительных трансформаторов, имеющих каждый две двойных шестифазных обмотки для питания двух 12-анодных выпрямителей.

На всех трех станциях по четыре агрегата подсоединены к шинам через фазорегулятор и один через реактор. Фазорегуляторы создают сдвиги на +12 и —12° для трансформаторов с первичным треугольником и на +6 и —6° для трансформаторов с первичной звездой. В результате напряжений приложенных к соответствующим анодам 5 агрегатов, ок

ваются сдвинутыми на 12° , что эквивалентно 30-фазной боте выпрямителя. Трехфазный же реактор включается агрегат, не получающий сдвига, во избежание появления сложных источников гармонических от небаланса, связанного со сдвигом напряжения, равным не точно 30° . Поскольку на второй станции в Alcoa сдвиг на $\pm 12^\circ$ создан для трансформаторов с первичным треугольником, $\pm 6^\circ$ — для первичной звезды, сдвиг анодных напряжений орой станции по отношению к первой составляет 6° , что и параллельной работе станций эквивалентно 60-фазной боте.

Опыты, проведенные на модели 30-фазного выпрямителя, показали, что подобное соединение позволяет устранить в катушке сети все гармоники ниже 29-й.

Описываемый метод уменьшения искажений является более простым и экономичным, чем установка сглаживающих устройств из реактора и емкостей. Применение фазорегулятора позволяет легко получать 24, 36, 48 и т. п. фазные стемы.

В конце статьи приводится дискуссия, в которой приняты участие видные специалисты по ртутным выпрямителям.

М. Д. Трейвас

J. C. Read. Выпрямительное оборудование для рекуперативной работы. *El. Ry Traction*, стр. 40—52, № 86, 1940.

Необходимость увеличения пропускной способности некоторых горных участков Южно-Африканских железных дорог привела к их электрификации, которая была выполнена с помощью системы постоянного тока 3000 V, получаемого от мотор-генераторных подстанций, допускающих рекуперацию энергии. При дальнейшем расширении электрификации были построены подстанции с управляемыми выпрямителями, позволяющими при работе их инверторами возвращать энергию постоянного тока в систему переменного тока.

Для целей выпрямительно-инверторной работы применяются три схемы: 1) две отдельные трансформаторные обмотки для отдельных преобразователей, работающие постоянно параллельно, — один как выпрямитель, а другой как инвертор; 2) один преобразователь (с трансформатором), нормально работающий выпрямителем с переключателями, реверсирующими во время рекуперации направление тока, и 3) нормально работающий параллельно с инвертором выпрямитель.

Значительный интерес представляет комбинированная схема. В ней каждый выпрямитель посредством переключателей может быть переведен на работу инвертором. Оба преобразователя оборудованы сеточной аппаратурой, обеспечивающей компаундную характеристику, при которой выпрямленное напряжение 3000 V колеблется в пределах $\pm 25\%$.

Из описываемых подстанций две, не имеющие инверторных установок, полностью автоматизированы, другие же — наоборот, имеют по две выпрямительно-инверторных установки, но так как инверторные нагрузки их малы, то из двух инверторов работает лишь один; другой же остается отключенным. Предварительные опыты, проведенные на одной из подстанций, при которых управляемые выпрямители испытывались совместно с мотор-генераторами, показали, что выпрямители выдерживают гарантированные перегрузки с успехом выносят быстрые колебания нагрузки от 4000 kW при работе выпрямителем до 2000 kW при работе инвертором. Общий измеренный при опытах к. п. д. составлял 96% при полной нагрузке выпрямителя и 94% при тех же условиях работы инвертора. Коэффициент мощности в первом случае превосходит 0,91, в то время как во втором он был равен 0,58.

Частые грозы с молниями, наблюдаемые в районах электрифицированных железных дорог, часто повышают напряжения на анодах до 20—30 kV и служат причиной выключения преобразователей, причем последние более чувствительны к перенапряжениям при работе их выпрямителями, чем инверторами.

В заключение автор приводит эксплуатационные данные по пяти подстанциям вновь электрифицированного участка в 1939 г.

М. Д. Трейвас

F. Prantl. Электровозы 1-D₀-1 норвежских железных дорог. *BBC-Mitt.* № 9, 1940.

На электрифицированном участке Trälleborg — Göteborg — находятся в эксплуатации 8 электровозов Norsk Elektr. Brown Boveri. Общий вес каждого электровоза не превышает 84 т. Электровозы развивают максимальную скорость 110 km/h и предназначены для ведения пассажирских поездов.

Электровозы оборудованы однофазными серийными тяговыми двигателями на $16 \frac{2}{3}$ Hz часовой мощностью 720 л. с. каждый.

Тяговые двигатели электровоза замечательны тем, что якорь их не имеет вала; подшипники качения смонтированы непосредственно на торцах якоря. Такая конструкция наряду с экономией в весе создает более стабильные условия работы для зубчатой передачи. Вес тягового двигателя норвежских электровозов составляет 3200 kg.

Ю. М. Галонен

A. Meyer, M. Pauli. Новые легковесные мотор-вагоны швейцарских железных дорог. *Schweiz. Bauz.* № 25, 1940.

В конце 1939 г. была электрифицирована одна из старейших рельсово-зубчатых железных дорог линии Vex — Gryon — Villars — Chesières (основанной в 1902 г.).

Электрифицированный участок курортного значения протяжением всего 14 km узкоколейного (1 m) пути замечателен тем, что предназначен для эксплуатации подвижного состава как на чисто рельсовом, так и на рельсово-зубчатом участке.

На рельсовых участках максимальные подъемы достигают 60‰, а на участке более гористого профиля (протяжением около 5 km), обслуживаемом зубчатой двойной рейкой, подъем достигает 200‰.

Новый электрифицированный участок начинается на станции Vex, расположенной на высоте 412 m над уровнем моря, и достигает максимальной высоты на станции Villars, расположенной на высоте 1256 m над уровнем моря.

Для этой линии в начале 1940 г. фирмой Schweizerische Lokomotiv und Maschinenfabrik Winterthur были построены мотор-вагоны с электрооборудованием Qerlikon.

Новые мотор-вагоны, получившие название «Красная стрела», имеют безрамную конструкцию несущего кузова и выполнены с широким применением электросварки. Емкость вагона рассчитана на 80 человек. Вес вагона (тара) составляет всего 19 т.

Новые мотор-вагоны предназначены для следования автономным составом и имеют электрооборудование для питания от сети постоянного тока 650 V.

Максимальная скорость вагона при следовании по рельсовому пути 30 km/h, а при прохождении рельсово-зубчатого участка 18 km/h.

Ю. М. Галонен

N. Edstrom. Новый шведский дизельэлектрический речной трамвай. *ASEA Journal*, стр. 46—48, № 3, 1940.

Новый речной трамвай предназначен для эксплуатации в окрестностях Стокгольма.

Речной трамвай оборудован шестицилиндровым двигателем Atlas Diesel мощностью 45 л. с. Обороты дизеля регулируются в диапазоне от 700—1000 об/мин.

Дизель служит для привода генератора постоянного тока 27 kW, 110 V, 1000 об/мин. Компаундный генератор имеет 4 обмотки возбуждения: шунтовую обмотку, вспомогательную обмотку (питаемую от возбuditеля), противокомпаундную серийную обмотку и пусковую обмотку (включаемую при развороте дизеля).

Этот же генератор используется как двигатель для разворота дизеля при пуске. Питание электродвигателя осуществляется в этом случае от аккумуляторной батареи.

Главный генератор питает электроэнергией двигатель мощностью 30 л. с. при 250 об/мин, приводящий в действие гребной винт речного трамвая. Двигатель имеет постороннее возбуждение, питаемое от напряжения 32 V. Для возбуждения обмоток двигателя и генератора служит вспомогательный генератор-возбудитель мощностью 2 kW при 32 V, расположенный на одной фундаментной плите с главным генератором. Этот же генератор служит для зарядки аккумуляторной батареи, для питания вентиляционной установки и цепи освещения.

Управление и обслуживание речного трамвая осуществляется одним человеком с помощью колонки управления с ценным приводом к реостату, регулирующему возбуждение поля генератора.

При длительных установках, с целью экономии горючего, обороты дизеля могут быть снижены до 700 об/мин, непосредственно из кабины управления.

Эксплуатация речного трамвая с электроприводом в течение более года дала вполне удовлетворительные результаты.

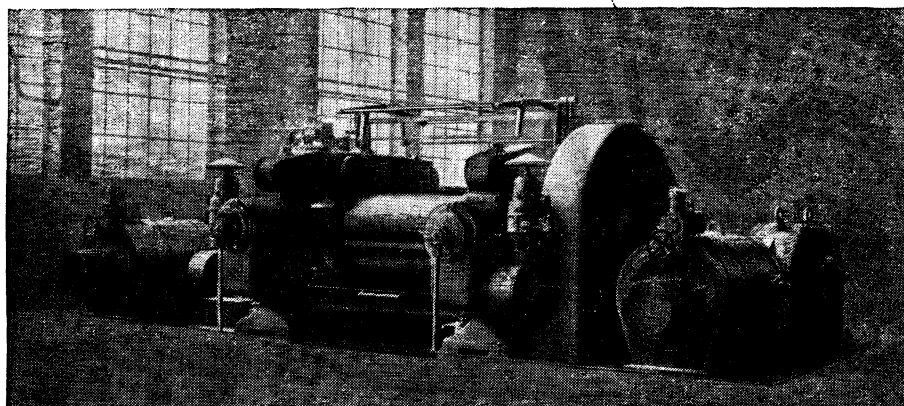
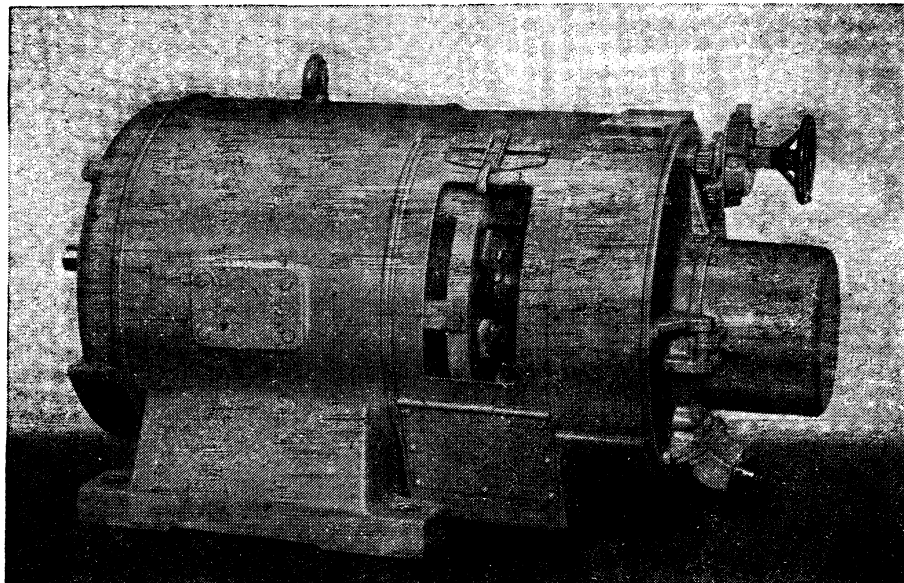
Автор приходит к выводу о целесообразности переоборудования ряда катеров Стокгольмских пригородных водных линий в речной трамвай с дизельэлектрическим приводом.

Ю. М. Галонен



ТРЕХФАЗНЫЕ ШУНТОВЫЕ МОТОРЫ

для привода машин и станков



Прокатный стан в резиновом производстве с приводом от двух шунтовых моторов по 90 кв, 1450-360 об/мин.

*Регулировка скорости:
бесступенчатая и без потерь.*

С запросами просим обращаться по адресу

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST
BERLIN-SIEMENSSTADT

JVo 23

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРЕССЫ для пластических масс модель НРК

с патентованным индивидуальным гидравлическим приводом

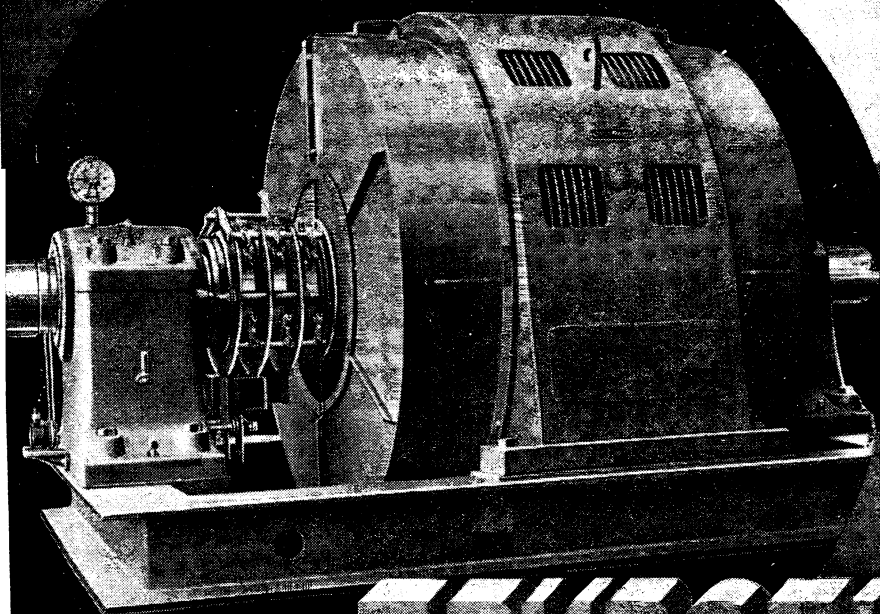
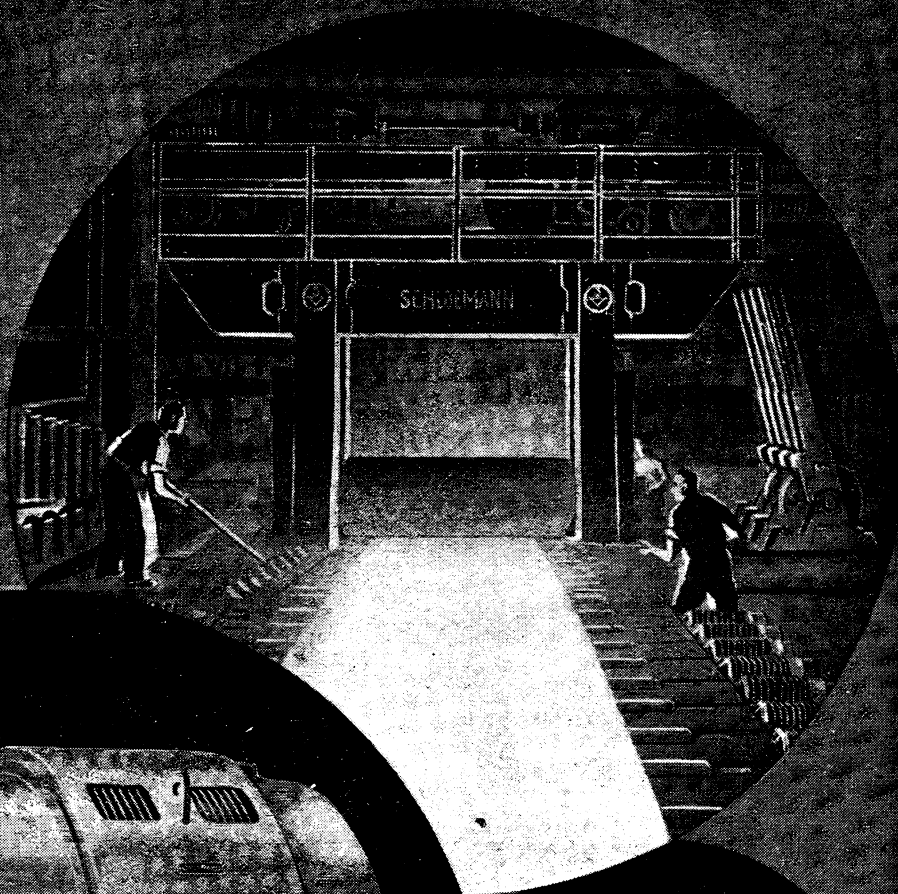
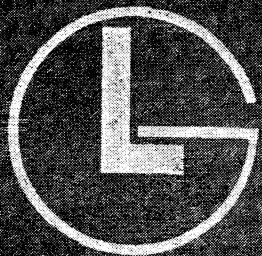


Быстродействующие прессы НРК применяются в настоящее время во всех промышленных странах, причем во многих предприятиях установлены целые серии таких прессов. Их успех обусловлен не только их исключительной производительностью и надежностью в эксплуатации, вызванные их конструктивными особенностями, но и разносторонней возможностью их применения. Быстродействующие прессы НРК пригодны для прессования всевозможного сырья различными способами. Они допускают экономически-рациональное производство сложнейших деталей, даже из трудно поддающегося обработке сырья. Благодаря наличию специальных приспособлений, как-то: автоматического, легко регулируемого замедлителя хода пресса, гидравлического выбрасывателя и т. д.: работа этого пресса отвечает самым суровым требованиям. Быстродействующие прессы НРК удовлетворяют Вас при обработке всевозможного сырья различными способами, как производительностью, так и качеством выработанных изделий.

Требуйте посылку Вам нашего проспекта № 92

НАНН & КОЛБ · STUTTGART ГАН И КОЛЬБ · ШТУТГАРТ

6755



Трехфазный мотор
с контактными кольцами
1500 kW, 740 об/мин, 5000 V
для привода листового
прокатного стана

ПРИВОДЫ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

GARBE, LAHMEYER & CO. AG.

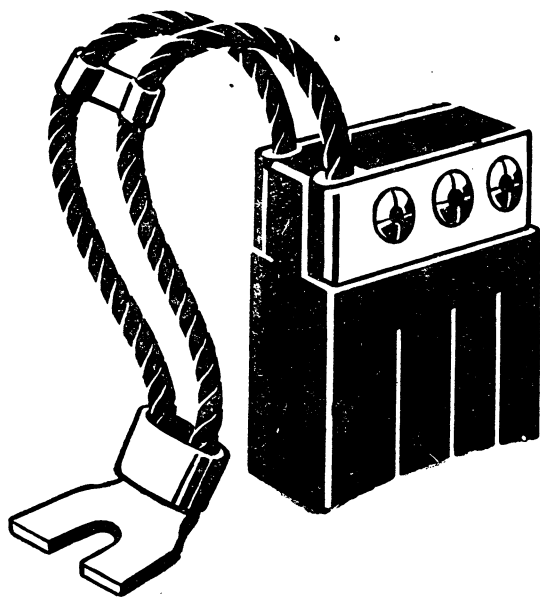
AACHEN

Германия

4232



RINGSDORFF



УГОЛЬНЫЕ ЩЕТКИ

НАША ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА
ОХВАТЫВАЕТ ЩЕТКИ ИЗ ТВЕРДОГО, ГРА-
ФИТНОГО, БРОНЗОВОГО И ОБЛАГОРО-
ЖЕННОГО УГЛЯ РАЗЛИЧНЕЙШЕГО КА-
ЧЕСТВА. МЫ ИМЕЕМ, БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ,
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТАВИТЬ НА ЛЮБУЮ
МАШИНУ ПОДХОДЯЩИЕ К НЕЙ ЩЕТКИ.

6769

RINGSDORFF-WERKE K.G. • MEHLEM-RHEIN (Германия)

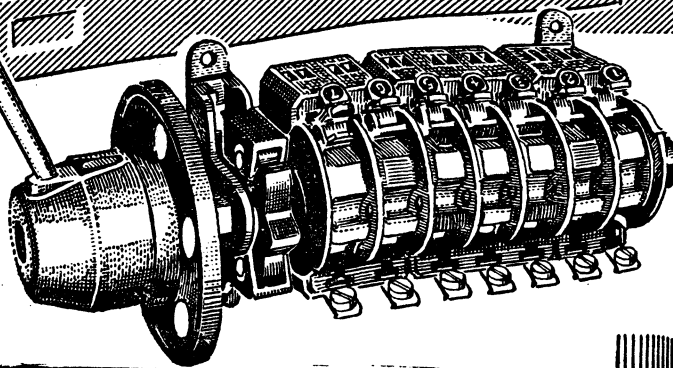
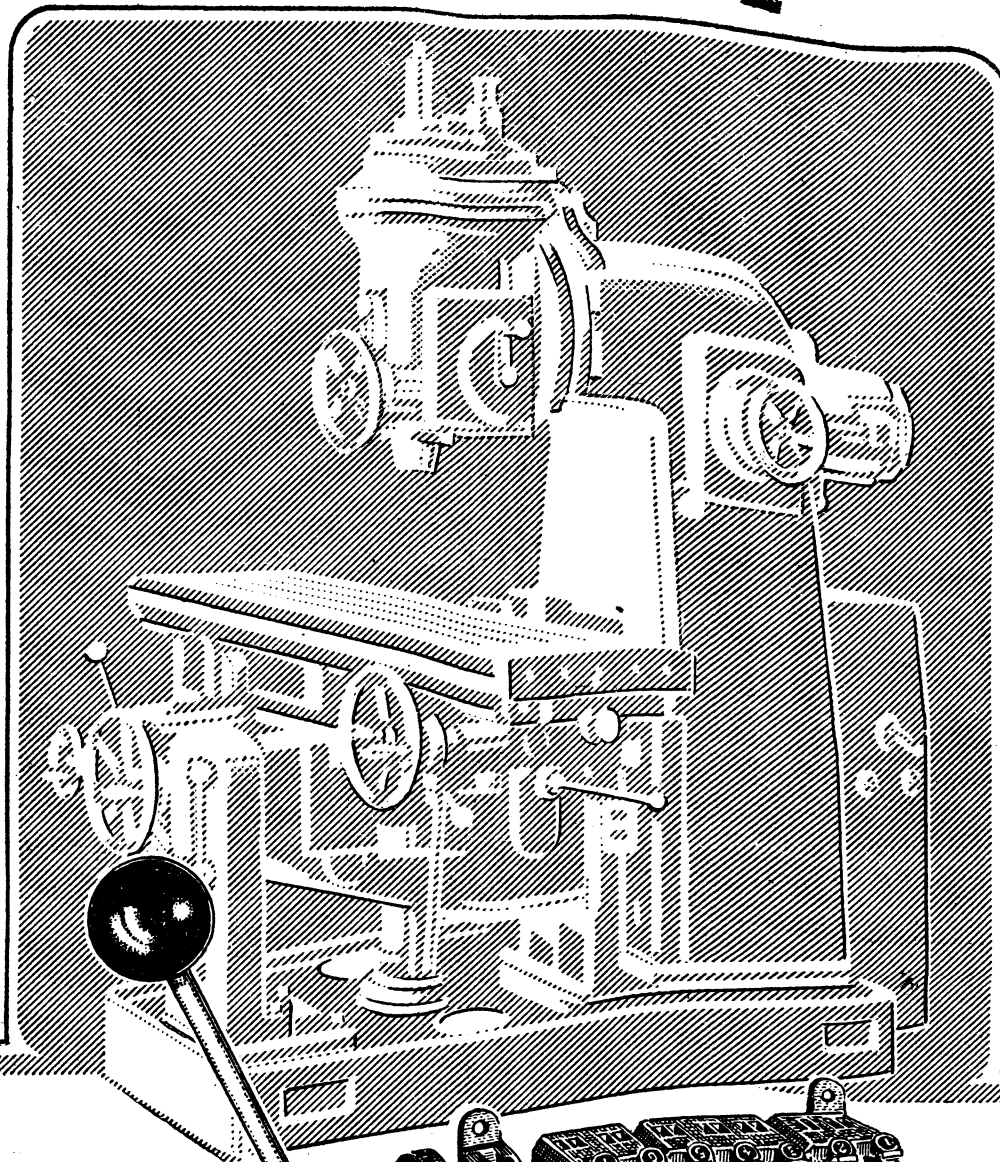
Электроизмерительные ПРИБОРЫ

для высокоточной техники, техники связи,
лабораторий и испытательных станций



Felten & Guillaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim

п. 53 г.
56



Варируя небольшим числом основных элементов конструкции, мы достигаем с нашими цилиндрическими контакторами 10000 различных комбинаций включений. При небольшом числе частей хранящихся на складе, универсальная применимость.

F. KLÖCKNER K.-G., KÖLN-BAYENTHAL

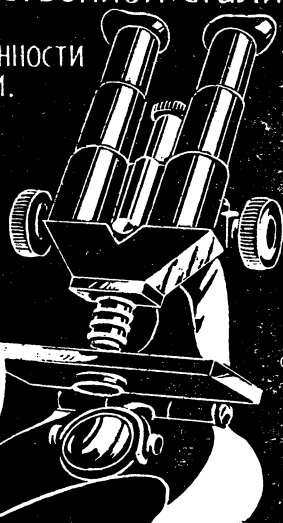
ПРЕЦИЗИОННЫЕ МЕЛКИЕ ДЕТАЛИ

Из "высококачественной стали"

Для
часовой промышленности
и точной механики.

Для
оптических и
электрических
измерительных
приборов

В
микроскопически
точном
выполнении

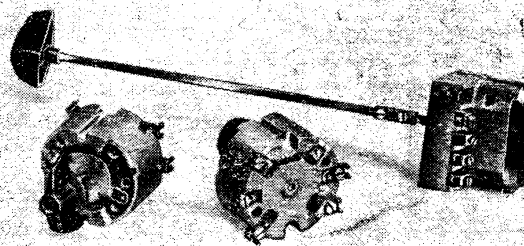


SCHUMAG
AACHEN
Германия



Выключатели всевозможных
типов для регулировки
электрического отопления
по нормам Союза Германских Электротех-
ников и иностранным техническим условиям

на 10, 15 и 25а для кухонных
плит и производственных
нагревательных приборов



Ernst Dreefs, Unterrodach (Oberfr.)
Основ. в 1903 г. На выставке (ГЕРМАНИЯ)
в Лейпциге дом „Электротехники“, Г.З.



Быстроходные оплеточные машины ГОРНА

для любого вида оплетки проводов
и кабелей любым материалом, от ас-
беста до железной проволоки. Наи-
высшая надежность в работе, наи-
высшая производительность при по-
стоянной работе. Зарекомендованы
многолетней практикой.

До сих пор поставлено свыше 9700 бы-
строходных оплеточных машин к полному
удовлетворению моих клиентов.

Горизонтальные оплеточные
машины, ткацкие станки для
бензиновых рукавов.



Guido Horn
Berlin-Weißensee XII

А 74/8749



МАСЛЯНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ ГЕРИНГА

для любого назначения
с водяным или воздушным охлаждением

Модели:

- с спиральной трубкой
- с параллельными стенками
- с масляными трубками и т. п.

Кроме того:

- Установки для очистки и для регенерации масла
- Вакуумные пропиточные установки
- Вакуумные сушильные шкафы
- Маслоподогреватели

Уже сотни наших установок поставлены до
сих пор в СССР!

Требуйте наши подробные проспекты!

Aktiengesellschaft

A. Hering, Nürnberg 2
(Abhofach) Германия