

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1941



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

4

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Сталинские премии — праздник советской науки и техники	1
<i>Клементьев В. Д.</i> — Лауреат Сталинской премии Валентин Иванович Коваленков	2
<i>Шемаев А. М.</i> — Новые источники света	4
<i>Васильев А. А.</i> — Электрические схемы и типы распределительных устройств высокой надежности	8
<i>Кантер А. С., Ларионов А. Н., Москвитин А. И.</i> — Новейшие конструкции асинхронных двигателей	15
<i>Будзко И. А.</i> — Однофазные электродвигатели с пусковыми электролитическими конденсаторами	20
<i>Кантер А. С.</i> — Новые материалы для постоянных магнитов с термомагнитной обработкой	22
<i>Вайнберг А. Я.</i> — Электрические методы измерения давлений	24
<i>Никитин В. П.</i> — Новый тип сварочной машины переменного тока	26
<i>Гольдберг Ф. Я.</i> — За рациональное конструирование внутрицеховых электросетей	28
<i>Бабат Г. И.</i> — Высокочастотные конденсаторные нагреватели для тонких проволок	32
<i>Москвитин А. И.</i> — О проблеме тихоходного соленоидного привода переменного тока	35
<i>Юдицкий С. Б.</i> — Синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей	37
<i>Яновская Э. Я.</i> — Электробуксирная тяга на каналах	40
<i>Акодис М. М.</i> — Об ошибках в изучении процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя	42
<i>Буйлов А. Я.</i> — Ответ на критику работ ВЭИ в области теории гашения дуги	49
<i>Калинин Е. В., Каплан В. П и Мерзвинский В. П.; Буткевич Ю. В., Линниченко Н. Н., Мелькумов А. М., Малевинский Б. В.</i> — К статьям М. М. Акодиса и А. Я. Буйлова	53
<i>Юров Ю. Я. и Смирнова А. А.</i> — О физике явлений, происходящих при гашении дуги переменного тока в масляных дейонных выключателях	55
<i>Марквардт Г. Г.</i> — Одноштанговый токоприемник для троллейбуса	56
<i>Гейлер Л. Б.</i> — Построение кривой к. п. д. электродвигателей	56
<i>Приклонский Е. Н.</i> — Влияние соединительных полос в ряде трубчатых электродов на результирующее сопротивление заземления	58
<i>Попов П. А.</i> — Приближенное измерение мощности и энергии в четырехпроводных цепях трехфазного тока	60
<i>Мильштейн В. Н.</i> — К расчету мостов	61
<i>Рахкс И. М.</i> — Преобразование n -лучевой звезды переменного тока при наличии взаимной индукции и э. д. с.	63
<i>Ведмидский М. М.</i> — Измерение сопротивлений электроизолирующих материалов с большой проводимостью	67
<i>Егоров И. С.</i> — Письмо в редакцию	69
<i>Шницер Л. М.</i> — Ответ тов. И. С. Егорову	69
<i>Земляной М. И.</i> — 15-я глава „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“	70
<i>Галочкин Н. П.</i> — Новый ГОСТ на электрические машины	70
<i>Хроника</i>	71
<i>Библиография</i>	74
<i>Рефераты</i>	78

ОРГАН 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

СТАЛИНСКИЕ ПРЕМИИ— ПРАЗДНИК СОВЕТСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Присуждение Советом Народных Комиссаров СССР Сталинских премий за выдающиеся работы в области науки, изобретений и искусства является замечательным праздником всей советской науки, техники, культуры и искусства. Лучшие ученые, инженеры, конструкторы, изобретатели и новаторы удостоены премии имени вождя народов великого Сталина и звания лауреатов Сталинских премий. Наука и техника получили новый невиданный стимул для своего развития и процветания.

Являясь ярким подтверждением заботы и внимания, которые партия и правительство уделяют техническому прогрессу и передовым его представителям в нашей стране, присуждение Сталинских премий обязывает к еще большему совершенствованию техники, к внедрению новейших достижений науки, к освоению производства новых машин, материалов и изделий для укрепления хозяйственной и оборонной мощи СССР. К этому обязывают ученых и инженеров и решения XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б).

Творческие силы деятелей советской науки и техники, вдохновленных Сталинскими премиями, испытывают большой подъем в связи с постановлением ЦК ВКП(б) и СНК СССР о составлении генерального хозяйственного плана СССР на 15 лет, который должен быть рассчитан на решение задачи — перегнать главные капиталистические страны в производстве на душу населения — чугуна, стали, топлива, электроэнергии, машин и других средств производства и предметов потребления. Эта вели-

чайшая историческая задача может быть решена лишь при условии дальнейшего мощного развития промышленности, транспорта и сельского хозяйства на новейшей научно-технической основе и в борьбе против устаревших традиций, консерватизма, самодовольства и зазнайства во всех областях науки и техники, теории и практики.

Работники советской электротехнической науки, электропромышленности и электрохозяйства должны будут приложить большие усилия, показать образцы работы для выполнения своей ответственной роли в разрешении новых задач социалистического строительства. К этому призывает всех советских электротехников блестящий пример лауреатов Сталинских премий.

Среди лауреатов имеется ряд выдающихся ученых и изобретателей в области электротехники. Сталинской премией второй степени отмечены замечательные работы члена-корреспондента Академии Наук СССР, профессора-орденоносца, заслуженного деятеля науки и техники В. И. Коваленкова: «Теория передач по линиям электросвязи»; «Теория электромагнитных цепей»; «Основы теории магнитных цепей и применение ее к анализу релейных схем». В. И. Коваленков является крупнейшим ученым, теоретиком и изобретателем, сделавшим своими многочисленными трудами огромный вклад в электротехнику слабых токов, автоматику и телемеханику. Сталинские премии второй степени присуждены научному сотруднику Всесоюзного электротехнического института Н. В. Александрову

совместно с инженером Наркомнефти СССР А. П. Островским за изобретение электробура, а также профессору Московского Ордена Ленина государственного университета им. Ломоносова Н. С. Акулову за применение разработанной им теории ферромагнетизма к дефектоскопии металлов.

Сталинские премии послужат побудительной силой к еще более глубоким и плодотворным научным и инженерным работам во всех областях науки и техники, в том числе и в области электротехники.

Вся советская страна горячо приветствует лауреатов Сталинской премии.

Лауреат Сталинской премии Валентин Иванович Коваленков

Канд. техн. наук, доц. В. Д. КЛЕМЕНТЬЕВ

Ленинградский электротехнический институт инженеров сигнализации и связи

Непрерывные телефонные звонки, бесчисленные приветствия, поток поздравительных писем и телеграмм буквально наводнили тихую, уединенную квартиру в особняке на Песочной улице Ленинграда, в том самом доме, в котором жил, работал и творил великий русский изобретатель радио А. С. Попов... Советская общественность горячо поздравляла достойного ученика великого изобретателя радио, человека незаурядной творческой мысли, оправдавшего надежды и чаяния своего учителя, — Валентина Ивановича Коваленкова, с высокой наградой советского правительства, с присуждением ему Сталинской премии второй степени.

Имя члена-корреспондента Академии Наук СССР, заслуженного деятеля науки и техники, профессора-орденоносца, доктора технических наук, бригаднера, виднейшего советского электротехника В. И. Коваленкова пользуется заслуженной любовью и популярностью среди своих учеников, друзей, соратников и среди всей научно-технической общественности. Валентин Иванович Коваленков является крупнейшим ученым, теоретиком, изобретателем в области электрической проводной связи, подлинным тружеником науки, сделавшим своими многочисленными трудами неопределимый вклад в электротехнику слабых токов, автоматику и телемеханику.

В. И. Коваленков — блестящий лектор, большой педагог и прекрасный методист высшей школы, он вырастил целую плеяду талантливых молодых ученых — инженеров и преподавателей в области техники связи; он создал свою собственную школу по телефонии. В. И. Коваленков — неутомимый общественный деятель, подлинный беспартийный большевик, горячий патриот своей родины.

Именно поэтому хочется осветить более подробно жизненный путь лауреата Сталинской премии В. И. Коваленкова, поближе ознакомить читателей с этим замечательным человеком.

Валентин Иванович Коваленков родился в 1884 г. в глухой деревушке б. Новгородской губ. (ныне Чудовский район Ленинградской области). Здесь прошло его раннее безрадостное детство. Его отец был сельским учителем, едва обеспечивавшим пропитание своей большой семье. Учитель тянулся из последних сил, чтобы дать образование детям. Стар-

ший — Валентин, окончив сельскую школу, перешел в интернат для детей сельских учителей в Новгороде. С 13 лет Валентин стал зарабатывать уроками средства к жизни, помогая воспитывать пять своих братьев и трех сестер.

Окончив Новгородское реальное училище, В. И. Коваленков направился в Петербург и поступил там в Электротехнический институт. Интенсивная учеба в Электротехническом институте, добывание средств к жизни уроками, преподавание в одной из гимназий на Петроградской стороне сочетались у Валентина Ивановича с активным участием в политической жизни. В 1903 г. в Электротехническом институте был организован нелегальный социал-демократический кружок. Студенты собирались тайком и зачитывались произведениями Маркса, Ленина, Плеханова. Неизменным участником этих собраний был и студент Коваленков.

Летом 1904 г., во время каникул, Валентин Иванович по поручению социал-демократического кружка обходит Крестецкий, Новгородский и Валдайский уезды и пропагандирует среди крестьян большевистские идеи. 1905—1907 гг. у Валентина Ивановича были заполнены пропагандистской деятельностью среди рабочих Выборгского района Петербурга. Эти годы особенно памяты для Валентина Ивановича. Тогда на собрания студенческого кружка часто приходил Владимир Ильич Ленин. Как рассказывает В. И. Коваленков, Владимир Ильич внимательно слушал горячие споры студентов, бросая меткие реплики, замечания и направляя дискуссию, разоблачая неправильные и вредные взгляды, которые пытались прививать студентам меньшевики, а также охотно читал свои доклады и рефераты.

В. И. Коваленков вспоминает, как однажды вместе с Владимиром Ильичем ехали они в конке к рабочим Путиловского завода. Зашел разговор о перспективах развития электротехники. Владимир Ильич указал на огромное будущее электричества и на значение электрификации для России. Эти указания Владимира Ильича послужили руководством в дальнейшей деятельности В. И. Коваленкова. Он посвятил свою жизнь разработке проблемы электро-связи на большие расстояния.

Высокая требовательность к себе, к своим знаниям и упорная творческая работа в любимой области скоро выдвинули В. И. Коваленкова в ряды крупнейших специалистов электрической проводной связи. Научной работой В. И. Коваленков начал заниматься еще студентом в 1907 г. Изобретение телефонной трансляции с микрофонно-телефонными усилителями было первым шагом молодого ученого на научном и изобретательском поприще (1909 г.). Окончив с медалью Электротехнический институт в 1909 г., В. И. Коваленков поступает на физико-математическое отделение университета, которое оканчивает в два года. Валентин Иванович выполняет большую теоретически-исследовательскую работу в области распространения электромагнитных волн вдоль телеграфных проводов и защищает диссертацию. Исследования В. И. Коваленкова обратили на себя внимание ученых Европы и Америки. Известный электротехник Вагнер предложил издать труд Валентина Ивановича, взяв на себя редактирование. За эту работу В. И. Коваленков получил в 1914 г. премию им. А. С. Попова и почетный отзыв Российской Академии Наук. Однако судьба первого изобретения В. И. Коваленкова телефонной трансляции не была удачна.

Тупые чиновники-бюрократы царской России не оценили трудов молодого ученого. Они наотрез отказались осуществить предложенную им телефонную трансляцию, и только после Великой Октябрьской социалистической революции, в 1921 г., была воплощена в жизнь первая работа Валентина Ивановича.

На выставке работ лауреата Сталинской премии В. И. Коваленкова, организованной в Ленинградском электротехническом институте инженеров сигнализации и связи, где он является зав. кафедрой телефонии, можно видеть замечательный документ. Это копия постановления Совета Труда и Оборона от 5 октября 1921 г. «Об изобретении телефонной трансляции профессором Коваленковым и способах проведения этого изобретения в жизнь». Это постановление, подписанное В. И. Лениным, обязывало произвести опытную установку трансляции на станции Бологое на одном из проводов Петроград—Москва и двух оконечных аппаратов Москва—Кремль и Петроград—Смольный, а также оборудовать подвижную лабораторию — вагон для исследования линий: 1) Петроград—Москва в целях установки трансляции и применения железных проводов для междугороднего телефонирования и 2) Москва—Нижний-Новгород для исследования для той же цели алюминиевых проводов.

Результаты применения разработанной В. И. Коваленковым телефонной трансляции оказались весьма успешными.

С первых же дней Октября талантливый ученый крепко связал свою судьбу с судьбой возрожденной родины. В тяжелые для революции дни 1919 г., когда войска Юденича стояли на подступах к Петрограду, в штаб обороны пришел профессор

В. И. Коваленков и предложил свои услуги. Под его руководством была налажена связь.

В 1917 г. В. И. Коваленков получил кафедру в Электротехническом институте — ныне имени В. И. Ульянова (Ленина), — там, где он впервые увидел Владимира Ильича, где родились первые его творческие мысли. С огромным увлечением и неиссякаемой энергией он трудится над своими научными исследованиями, преподает в нескольких высших ленинградских учебных заведениях, ведет работу в институте автоматики и телемеханики Академии Наук СССР.

Его научные работы, изобретения следуют непрерывным потоком. Валентин Иванович создает труды, которые дают освещение сложных явлений электромагнетизма. К основным трудам его относятся следующие книги и статьи:

По теории движения электромагнитных волн вдоль проводов. 1. Устанавливающиеся процессы и распространение прерывистого тока по телеграфным проводам. 2. Устанавливающиеся процессы тока и напряжения в надземных проводах. 3. Линия с непрерывно распределенной электродвижущей силой. 4. Влияние линий друг на друга.

По теории телефонной и телеграфной передачи. 1. Телефонирование на большие расстояния. 2. Телефонные трансформаторы. 3. Теория телефонно-телеграфной передачи.

По общей теории связи. Основы теории связи, ч. I и II.

По теории магнитных цепей. 1. Теория магнитных цепей, ч. I, II, III и IV. 2. Основы расчета электромагнитного реле и ряд других.

По телефонным станциям и аппаратуре. Центральные городские и междугородные телефонные станции, телефония ч. I и ряд других.

За годы своей жизни В. И. Коваленков написал 23 книги, свыше 100 статей и получил 76 патентов на изобретения, безвозмездно переданные им государству. Только за последние 8 лет В. И. Коваленков выпустил 54 научных работы.

За выдающиеся работы — а) «Теория передач по линиям электросвязи», ч. I и II; б) «Теория электромагнитных цепей»; в) «Основы теории магнитных цепей и применение ее к анализу релейных схем» — Валентин Иванович Коваленков получил Сталинскую премию второй степени.

Неоценимый вклад в науку, сделанный В. И. Коваленковым, позволяет считать его по справедливости одним из основоположников теории электросвязи. Ряд его трудов переведен на западноевропейские языки. Акад. А. Н. Крылов в своей книге о некоторых дифференциальных уравнениях математической физики ссылается на труд В. И. Коваленкова по распространению электромагнитных волн, сопоставляя его с работами знаменитого физика Кирхгофа.

Валентин Иванович Коваленков находится еще в полном расцвете творческих сил, и нет сомнения в том, что он своими дальнейшими трудами еще много обогатит сокровищницу мировой науки.

Новые источники света

Канд. техн. наук А. М. ШЕМАЕВ

Всесоюзный электротехнический институт

Новыми источниками света принято называть газосветные лампы, в которых свет создается излучением газового разряда. Экономичность подобных ламп в два и более раза выше экономичности ламп накаливания одинаковой с ними мощности.

Помимо своих положительных качеств, они обладают рядом недостатков, препятствующих их массовому распространению.

В газосветных лампах используется дуговой разряд, имеющий падающую вольтамперную характеристику, и в лампе, включенной непосредственно на сеть, практически мгновенно нарастает ток такой большой силы, что она катастрофически гибнет, трескаясь по вводам тока. Поэтому все газосветные лампы должны включаться последовательно с омическим или, как принято в большинстве случаев, индуктивным сопротивлением для ограничения тока через лампу.

При наличии индуктивного балластного сопротивления для устойчивости дугового разряда лампы необходимо поддерживать питающее напряжение на равном полуторакратному падению напряжения на электродах самой лампы, вследствие чего коэффициент мощности газосветных ламп низок. Наилучший коэффициент мощности имеют ртутные лампы — до 0,65, в лампах же неоновых, натриевых и лампах с флюоресцирующими веществами он не превосходит 0,35—0,40. Для исправления коэффициента мощности необходимо каждой лампе придавать конденсатор, емкость которого в зависимости от схемы включения и типа лампы, доходит до 40 мкФ. В схеме, предложенной В. Н. Дураковым¹ для питания натриевых ламп и пригодной также для неоновых ламп, емкость конденсатора, необходимого для исправления коэффициента мощности, равна около 4 мкФ.

Сложность питания ламп является, правда, не основной причиной их медленного внедрения в технику освещения. Серьезным препятствием к широкому распространению газосветных ламп является искажение цветопередачи объектов, ими освещаемых. В неоновых лампах преобладают интенсивные красные линии и вовсе нет голубых; в натриевых лампах свечение создается яркой дублетной желтой линией, в ртутных лампах оно создается двумя желтыми линиями, одной зеленой и одной синефиолетовой линией. Лица людей при освещении ртутными лампами выглядят мертвенно синими.

Естественно поэтому, что в последние годы центр тяжести работ по газосветным лампам был перенесен на изыскание всех возможных путей исправления цветности газосветных ламп, преимущественно ртутных. Ртутные лампы в отличие от натриевых и неоновых имеют тот недостаток, что они не загораются при повторном включении непосредственно после их выключения. Чтобы зажечь лампу повторно, нужно дать предварительно ей остыть.

Это необходимо для того, чтобы в лампе создавалось определенное для данного расстояния между электродами и при данном напряжении сети оптимальное давление ртутного пара около 10—30 ммHg. При давлениях, превосходящих или ниже некоторого критического значения, дуговой разряд при заданном напряжении сети вовсе не возникает. В рабочем режиме давление в ртутной лампе, в зависимости от ее конструкции, достигает одной и даже нескольких десятков атмосфер и после выключения ее требуется некоторое время, чтобы давление упало до критического значения. При морозной погоде, наоборот, давление ртутного пара в неработающей лампе сильно падает и затрудняется начало разряда при включении.

Другой недостаток ртутных ламп — световой поток после их включения растет постепенно и достигает нормального значения спустя 5—7 мин, когда вся находящаяся в баллоне ртуть полностью испарится.

Несмотря на ряд перечисленных недостатков, свойственных газосветным лампам, они могут в ряде случаев с успехом применяться без всяких особых дополнительных улучшений. Например, неоновые лампы вполне пригодны для сигнализационных огней маяков и декоративных целей; натриевые лампы можно использовать для освещения загородных дорог, где цветность свечения не существенна. Ртутные лампы с успехом применяются в светокониях и при освещении таких объектов, где требуется свет, близкий к монохроматическому, например при сортировке угольной породы и др. Для таких потребителей нашими заводами освоен ассортимент ламп по техническим данным, приведенным в табл. 1. По своим качествам лампы не уступают заграничным образцам.

В общей и специальной осветительной технике ведутся большие работы с целью сделать газосветные лампы удобными для массового потребления. Наиболее интересные результаты и перспективы этих работ приводятся в настоящем кратком очерке.

¹ В. Н. Дураков. Бюллетень ВЭИ, № 9, 1940.

Таблица 1

Газосветные лампы, освоенные промышленностью

Тип лампы	Мощность W	Напряжение контура лампы V	Пусковое приспособление	Ток А	Напряжение на лампе V	Световой поток ln	Экономичность ln/W
Неоновые	350	220	Автотрансформатор	4,5	70—80	4500—5000	13
Натриевые На-3	65	220	"	0,4	160	3 000	46
Натриевые На-4	100	220	"	0,6	170	6 000	60
Ртутные Игар:			Дроссель				
Игар 4	250	220	"	2,1	120—135	7 000	28
" 3	400	220	"	3,1	120—135	12 000	30
" 2	500	220	"	4,4	120—135	16 000	32

Техника располагает многими средствами для исправления цветности ртутных ламп. Старый и наиболее простой способ — комбинирование в одном светильнике или в освещаемом помещении ртутных ламп и ламп накаливания — не нашел широкого распространения. При хорошем исправлении цветности, требующем отношения световых потоков ламп накаливания и ртутных ламп 1 : 1, получается неболь-

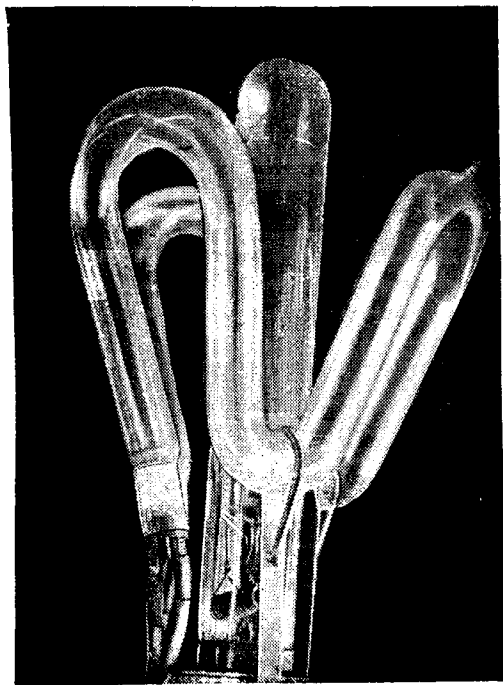


Рис. 1

шая экономия по освещению по сравнению со случаем использования одних ламп накаливания.

Удовлетворительный результат даст уже описанная нами² комбинация ртутной лампы с лампой накаливания в качестве балластного сопротивления вместо дросселя, при которой отношение мощностей ртутных ламп и ламп накаливания берется приблизительно 2 : 1. Для такой комбинации В. Н. Дураков разработал в ВЭИ новую схему выключения части спирали лампы накаливания после разогрева ртутной лампы, в которой биметаллическое реле заменено электромагнитным. Максимальная экономичность, получаемая в таких комбинированных лампах, не превышает 25 лп/Вт при затрате мощности около 600 Вт на комбинированный светильник.

Расчеты Е. С. Ратнера в ВЭИ показали, что для хорошей передачи красного цвета в световом потоке ртутных ламп должно быть не менее 20% лучей, лежащих в спектральной области от 6000 до 7000 Å. Экспериментально это было проверено на комбинации в одном светильнике ртутных ламп с неоновыми лампами. Один из вариантов комбинированной лампы показан на рис. 1.

В этой комбинированной лампе ртутная лампа имела мощность 400 Вт, а неоновая, осуществленная в виде зонтика, около 200 Вт. Ртутная лампа питалась от сети 220 В через дроссель, неоновая от той же сети через автотрансформатор с магнитным рассеянием. Экономичность комбинированного источника составляла 25 лп/Вт. При освещении такой лампой все цвета, за исключением голубого цвета (голубых линий большой интенсивности нет ни

в спектре неона, ни в спектре ртути), передавались довольно удовлетворительно. Меняя интенсивность света неоновой или ртутной лампы, можно делать комбинированный свет теплее (больше красных лучей) или холоднее (больше желто-зеленых лучей).

Однако сложность питания такой комбинированной лампы не позволяет использовать ее в качестве общедоступного источника света.

Можно ввести внутрь лампы, кроме ртути, другие вещества, имеющие в своем спектре те интенсивные линии, которых не хватает в ртутном спектре. В этом отношении наиболее удобны металлы цинк и кадмий.

Предварительные опыты с этими металлами для стеклянных ламп не дали положительных результатов, так как в стеклянных оболочках трудно создать необходимое давление пара этих металлов. Опыты, поставленные в ВЭИ, с кварцевыми лампами дали хорошие результаты. Образец ртутно-кадмиевой лампы представлен на рис. 2.

Ртутно-кадмиевая лампа имеет в своем спектре, кроме ртутных линий (5790, 5770, 5461 и 4830 Å), еще интенсивные кадмиевые линии (6438, 5086, 4800 и 4678 Å) и дает хорошую цветопередачу. В спектре преобладают зеленые линии и общий цвет свечения ламп — зеленоватый.

Комбинируя ртуть, кадмий и цинк в одной лампе и устанавливая парциальное давление паров кадмия близким к атмосферному, можно добиться хорошей передачи всех цветов, но экономичность таких ламп находится в пределе 20—25 лп/Вт. Для ртутных ламп высокого давления, предназначенных для целей кинопроекции, добавка небольшого количества кадмия может дать уже заметное улучшение цветности передачи кинокартин и такие лампы можно использовать для проекции цветных фильмов.

С увеличением давления ртутного пара в лампе начинает усиливаться фон непрерывного спектра и усиливается красная часть спектра. При очень больших давлениях — несколько десятков и сотен атмосфер — ртутные лампы дают богатый всеми лучами спектр и хорошую цветопередачу, но такие давления достижимы лишь в лампах, охлаждаемых проточной водой, которые пригодны только для специальных проекционных целей, где необходимость в исправлении цветности вовсе не столь велика.

Ртутный спектр, кроме 4 интенсивных линий в видимом участке спектра, имеет богатую ультрафиолетовую область, которая может быть использована для целей освещения посредством веществ, известных под общим названием люминофоров. Под действием ультрафиолетового цвета люминофоры начинают интенсивно светиться; одни вещества светятся интенсивно под действием длинного ультрафиолета (3650 Å), другие — под действием короткого ультрафиолета (резонансного излучения ртути, 2537 и 1850 Å). Такие вещества в виде сернистых и других соединений были известны давно, но только благодаря работе последних лет их число значительно увеличилось и, что особенно важно, удалось получить вещества с сильным выходом видимого света в различных участках спектра.

Над разработкой новых люминофоров и применением их в газосветных лампах успешно работает группа проф. В. А. Фабриканта в ВЭИ и группа

² Известия Академии Наук СССР, стр. 515, 1936.

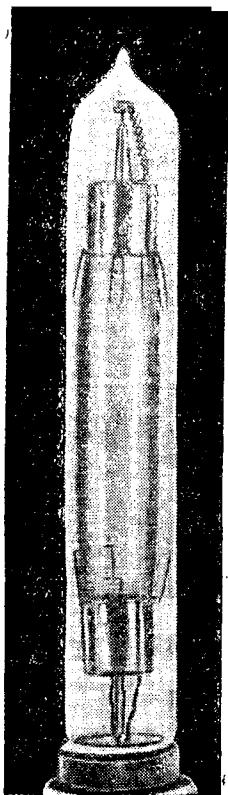


Рис. 2

ния цветности обычных ртутных ламп высокого давления (типа Игар) или сверхвысокого давления. Наилучшие составы такого люминофора дают возможность получить до 12% красных лучей в световом потоке ртутных ламп.

Такая степень исправления цветности является уже заметной, но все же еще не полной, при которой в световом потоке ртутных ламп должно быть 20% красных лучей.

Работы над улучшением этого люминофора продолжают одновременно с изысканием возможностей улучшения качества ртутных ламп. Стекла, применяемые для ртутных ламп типа Игар, в нагретом состоянии ослабляют пропускаемость ультрафиолета. Хорошее исправление цветности возможно получить лишь с ртутными кварцевыми лампами или же с лампами, сделанными из тугоплавкого увиолевого стекла. Образцы такого стекла уже выполнены на Московском электроламповом заводе инж. С. П. Ощипковым и они должны быть в ближайшее время использованы для изготовления ламп Игар с исправленной цветностью.

Люминофоры из силикатов цинка, кадмия и др. металлов с активаторами возбуждаются коротким ультрафиолетом 2537—1850 Å. Они используются внутри ртутных ламп низкого давления в виде белого порошка, осажденного на внутренней стенке лампы. Коротковолновое излучение из разряда, достигая порошка на стенке, заставляет его светиться светом, спектр которого определяется составом порошка. Свечение инертного газа и ртутного пара в лампе настолько слабо, что им можно пренебречь и считать, что основной свет в таких лампах создается только свечением люминесцирующего порошка.

С таким порошком можно получить большой ассортимент цветных ламп и ламп «белого» цвета. Характеристики ламп на ток 0,35 А, мощность 30 Вт

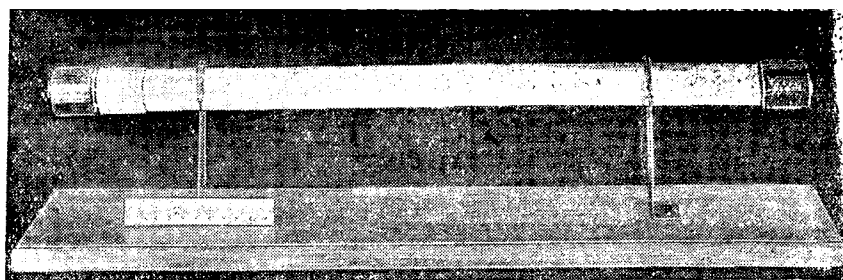


Рис. 3

при разности потенциалов электродов 80—85 В мы приводим в табл. 2 (ток ламп — 0,35 А). Разработаны аналогичные лампы длиной в один метр для питания от сети 220 В.

Таблица 2

Характеристика флюоресцирующих ламп, работающих от сети 120 В (длина лампы 500 мм)

Свет	Световой поток ln	Экономичность ln/W	Свет	Световой поток ln	Экономичность ln/W
Белый	900	30	Розовый	450—600	15—20
Синий	300—450	10—15	Зеленый	1800	60

Все эти лампы требуют предварительного нагрева катодов и импульсного зажигания. Лампы имеют форму цилиндра и снабжены на концах двухштырьковыми цоколями. Дроссель и приспособление для зажигания монтируются в отдельной портативной коробочке. На рис. 3 показан лабораторный образец такой лампы. Наибольший практический интерес представляют лампы белого цвета. Они дают весьма совершенную цветопередачу и весьма удобны там, где необходим для работы весь день «дневной» свет, например, при сортировке шерсти и пряжи в текстильной промышленности.

**

Кроме общего освещения, когда источники света должны давать хорошую цветопередачу, имеются области, где большую роль играет не экономичность ламп и не цветность их свечения, а другие качества, присущие только газосветным лампам. Большое число люминофоров, которые интенсивно возбуждаются ультрафиолетовым светом 3650 Å, годны не только для исправления цветности ртутных ламп, но могут применяться и как самостоятельные источники света. Такие люминофоры — преимущественно сернистые соединения цинка, кадмия и др. металлов или органические соединения типа родамина и др. — можно использовать как светящиеся краски, если их возбуждать длинноволновым ультрафиолетом, даваемым или обычными ртутными лампами типа Игар, если они сделаны из увиолевого стекла, или кварцевыми лампами АРКП.

Видимое излучение этих ламп поглощается «черными» фильтрами, изготавливаемыми или в виде колб, или в виде пластинок, которыми окружается лампа. Такие фильтры хорошо пропускают ультрафиолетовую линию 3650 Å и очень слабо пропускают видимый свет. Лампа в комбинации с таким фильтром носит название «черной» лампы и имеет широкое разнообразное применение. Например, такие лампы малой мощности употребляются для люминесцентного анализа, а лампы большой мощности (до 400 Вт) весьма удобны для целей маскировочного освещения (светящимися красками окраши-

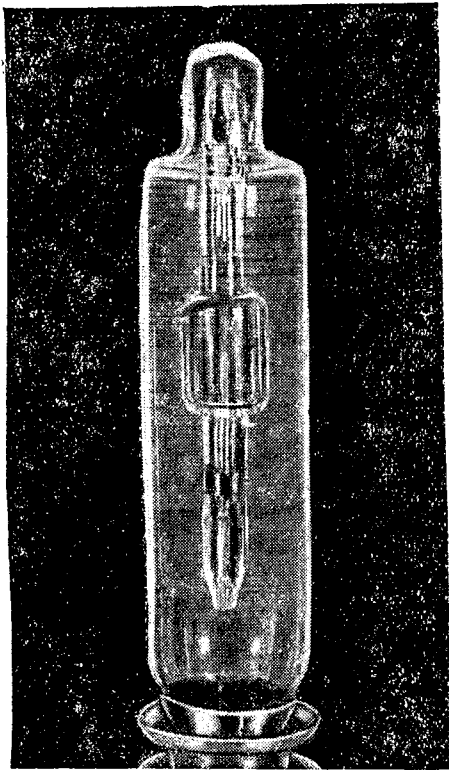


Рис. 4

вают контуры машин, контуры электрического оборудования и пр.). Большое и эффективное применение они находят также в театральном освещении для создания иллюзорных декораций, выполняемых светящимися красками. Одна и та же декорация, сделанная одновременно, обыкновенными и светящимися красками, может дать при освещении «черными» лампами совершенно иную декоративную обстановку сцены. Возможность использования этих черных ламп для декоративных целей послужит большим толчком к развитию их производства.

Как известно, ртутный разряд при очень высоких давлениях пара может быть использован для создания ламп большой яркости. Такие лампы известны под названием лампы сверхвысокого давления (СВД).

Подобная лампа, разработанная ВЭИ, показана на рис. 4. Лампа питается постоянным током, сделана из кварца, имеет вольфрамовый анод и вольфрамовый, покрытый оксидами щелочно-земельных металлов, катод. Расстояние между электродами 4 мм. Она наполнена инертным газом — аргоном — до давления 20 мм и ртутью в таком количестве, чтобы при полном разгорании на электродах ее падало бы 75—80 V, при токе около 4 А. В рабочем режиме в лампе устанавливается давление пара около 25 ат, при яркости порядка 15—20 sb. Эта лампа в небольших киноустановках вполне заменяет вольтовую дугу и дает приятное для глаза освещение экрана. Для начального зажигания лампа требует напряжения 130—135 V и небольшой ударный контур для первоначального возбуждения разряда.

Для таких ламп может быть гарантирован срок службы в 100 h.

В. П. Сасоров разработал на Московском электроламповом заводе шаровую конструкцию таких ламп и мощность их доведена в отдельных образцах до 1500 W. О. А. Сафрай на фабрике «Кинолампа» сделал лампу мощностью 2500 W, образцы ее уже испытаны.

Лампы типа СВД могут быть выполнены для питания и постоянным и переменным током. Экономичность таких ламп достигает 50 и более люменов на ватт, и они являются серьезными конкурентами ламп накаливания и вольтовых дуг в проекционных аппаратах. Работа по установлению определенного ассортимента таких ламп еще не закончена, предстоит еще изжить ряд существенных недостатков, свойственных ртутным лампам, которые в случае использования ламп в кинопроекторных аппаратах совершенно нежелательны. К ним относятся: а) повышенное напряжение зажигания (130 V); б) наличие высоковольтного ударного контура для зажигания разряда на постоянном токе; в) медленное разгорание лампы после включения; г) невозможность зажечь лампу сразу после выключения; д) кристаллизация кварца, вызываемая испарением щелочноземельного металла из катода.

Автору удалось получить лабораторные образцы ламп, где все эти недостатки полностью устранены, и можно надеяться, что их удастся устранить в производственных образцах. Тогда будущее за лампами СВД в проекционных устройствах будет полностью обеспечено.

Лампы СВД, о которых шла речь, не требуют искусственного охлаждения и дают средние яркости, достигающие до 25 000 sb. Более высокие яркости — до 100 000 sb — получаются только в лампах, охлаждаемых водою. Однако техника изготовления кварцевых ламп в настоящее время так подвинулась вперед, что можно уже ставить задачу о получении ламп без внешнего охлаждения с яркостями, близкими к тем, которые получают в лампах с водяным охлаждением. Принципиально такая задача вполне разрешима.

Разряд в лампах СВД, особенно питаемых постоянным током, имеет конусообразную форму с вер-

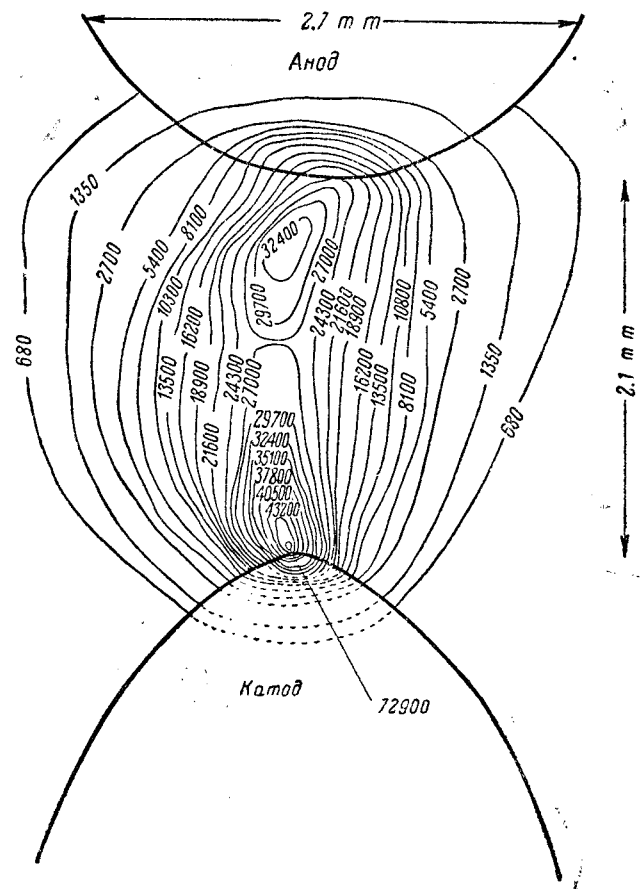


Рис. 5

шиной на катоде. Распределение яркости в таком разряде неравномерно, как видно из представленного на рис. 5 примера.

Сплошные линии соединяют места одинаковой яркости, измеренной в стильбах, с помощью мигающего фотометра конструкции З. М. Горева, в ВЭИ. Опытная лампа питалась током 4 А при напряжении на электродах в 50 V. Как видно, наиболее яркая часть разряда находится в катодном пятне, вблизи катода, где она достигает почти 73 000 sb. В других образцах ламп яркость катодных пятен доходила до 200 000 sb и более, но протяжение этих ярких областей столь незначительно, что о практическом использовании их пока говорить не приходится. Наличие таких больших яркостей в катодном пятне разряда указывает на наличие в нем высоких температур, обеспечивающих сильную термическую ионизацию ртутного пара. Можно думать, что в

данном случае, как было высказано Слепяном³, для поддержания разряда вполне достаточно того количества электронов, которое может образоваться в газе вблизи катода в результате тепловой ионизации, и наличие хорошо эмитирующего электроны катода в данном случае совсем не обязательно. Детальное исследование катодных пятен в ртутных дугах может пролить новый свет на физику явлений в вольтовых дугах.

Газосветные лампы внедряются в практику весьма медленно. Все же в перспективе они открывают большой путь прогрессу светотехники во всех ее разветвлениях, и чем больше будет поставлено опытов по применению газосветных ламп, тем скорее будут созданы новые, более совершенные промышленные конструкции ламп.

³ Slepián I. Phys. Rev., 27, 407, 1926.

Электрические схемы и типы распределительных устройств высокой надежности

Канд. техн. наук, доц. А. А. ВАСИЛЬЕВ

Московский энергетический Орден Ленина институт им. Молотова

В связи с переходом к строительству электростанций средней и небольшой мощности и чрезвычайно быстрым общим ростом мощности энергосистем Союза возникает ряд новых вопросов в области проектирования станций и подстанций. В частности, возникает вопрос о пересмотре принятых в настоящее время схем коммутации и установившихся конструкций распределительных устройств в сторону их упрощения и максимальной рационализации процесса сооружения, а также повышения надежности эксплуатации.

Как известно, вопросы внедрения новой техники, а также требования надежности и безаварийности электростанций и электросетей со всей четкостью выдвинуты в резолюции XVIII конференции ВКП(б) по докладу тов. Маленкова.

Необходимость пересмотра типовых конструкций распределительных устройств диктуется также прогрессом в аппаратостроении за последние годы.

Анализируя характерные типы распределительных устройств для напряжений 3—35 kV, применяемых в различных странах, можно ясно различить два основных пути развития этих устройств — это путь германской техники и техники США.

Главные распределительные устройства генераторных станций и крупных подстанций Германии [1] могут быть отнесены к типу сборных конструкций. В качестве примера такой конструкции на рис. 1 приведено типовое распределительное устройство фирмы AEG. Для этой конструкции характерно размещение аппаратуры в *открытых ячейках*, отгороженных от коридоров обслуживания только металлическими сетками. Ячейки выполняются обычно из легких стандартных строительных элементов стоек, балок и плит с большим или меньшим применением металла. Все элементы конструкции заранее изготавливаются на заводе, на месте производится только сборка. Одновременно со сборкой ячеек монтируются и аппараты.

В распределительном устройстве сборной конструкции часть элементов электрического оборудования поставляется заводами *комплектно*, например, типовые тележки AEG с установленными на них выключателями и измерительными трансформаторами, шкафы управления, устанавливаемые у фронта ячеек с приборами управления, контроля и защиты, включая вторичную проводку.

Габариты здания распределительного устройства сборной конструкции сокращены по сравнению с старыми конструкциями, главным образом, в связи с применением выключателей без масла и других аппаратов, не содержащих горючей изоляции, позволивших отказаться от взрывных камер. Характерным является расположение шин и выключателей, при напряжениях до 30 kV включительно, в одном общем этаже здания.

Электропромышленность США идет по иному пути [2]. В подавляющем большинстве новейших установок применены так называемые комплектные распределительные устройства типа metal-clad или cubicle (рис. 2, 3). Распределительные устройства этого типа собираются из готовых ящиков или ячеек. Каждая ячейка состоит из стального каркаса, на котором смонтированы сборные шины и все аппараты одной электрической цепи, а во многих случаях также приборы управления и защиты, включая вторичную проводку. Снаружи каркас обшивается стальными листами. Таким образом все аппараты заключены в *металлические кожухи*, предохраняющие аппараты от пыли, а обслуживающий персонал — от опасности прикосновения к токоведущим частям. Металлический кожух является характерной особенностью комплектных распределительных устройств. Эти устройства полностью изготавливаются на заводах и доставляются на место установки в виде собранных и испытанных на заводе ячеек, готовых к включению под напряжение. На месте производится только крепление ячеек на

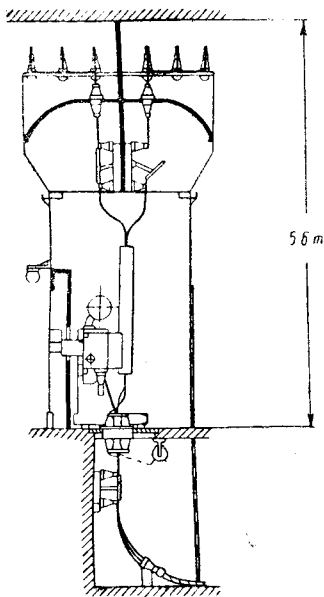


Рис. 1

фундаменте, соединение сборных шин, присоединение кабелей и подводка вспомогательного тока.

Особенностью комплектных распределительных устройств являются малые габариты ячейки. Выключатели и другие аппараты обычно монтируются на тележках, позволяющих выдвинуть эти аппараты из ячейки для осмотра и ремонта. Нормальные разъединители рубящего типа заменены разъединителями штепсельного типа, что значительно уменьшает габариты ячейки. Такой тип распределительных устройств обычно называется metal-clad (рис. 2)

в отличие от cubicle, в которых аппараты смонтированы на неподвижном каркасе и где применены разъединители рубящего типа (рис. 3). Комплектные устройства второго типа строятся обычно для выключателей большой мощности вплоть до 2500 MVA.

Главнейшие положительные качества комплектных распределительных устройств следующие:

1. Максимальная рационализация процесса сооружения в связи с унификацией конструкций и возможностью массового изготовления стандартных серий распределительных устройств на заводах и как следствие этого, высокое качество, короткие сроки сооружения и относительно низкая стоимость.

2. Максимальная компактность (по сравнению с сборными конструкциями и тем более со старыми распределительными устройствами в бетонных ячейках) и, следовательно, малые габариты здания и отсутствие сложных строительных работ.

3. Полная безопасность обслуживания, так как все токоведущие части закрыты металлическим кожухом. Блокирующие устройства препятствуют производству неправильных операций.

Сопоставляя сборные и комплектные конструкции, приходится признать неоспоримые преимущества последних. Однако отличие рассмотренных типов распределительных устройств не ограничивается конструктивными особенностями. Имеются еще другие отличительные черты, вытекающие из глубокого принципиального расхождения германской и американской техники, которое часто недооценивается при анализе конструкций распределительного устройства.

Электрические установки Германии и США выполняются по совершенно различным схемам. В Германии применяется исключительно двойная система шин с присоединением ответвлений через вилку из двух разъединителей и один единственный выключатель. В США используют либо одиночную секционированную систему шин, либо двойную, но с двумя выключателями в каждом ответвлении. В Германии нулевая точка генератора заземляется через большое сопротивление, и ток замыкания на землю составляет всего несколько десятков ампер. В США применяются малые сопро-

тивления в нейтрали, и ток на землю достигает 1000—4000 А.

Отличие электрических схем и расхождение во взглядах на вопросы заземления нулевой точки и защиты определяют различные конструктивные решения в Германии и США. Отсюда вытекает, что вопрос выбора типа распределительного устройства необходимо решать комплексно, рассматривая совместно электрическую схему, защиту и конструкцию распределительного устройства. Другой метод решения этого вопроса невозможен.

Повреждения в распределительных устройствах и их последствия. Основное требование, предъявляемое к распределительному устройству, — это надежность. Всякое повреждение в распределительном устройстве, связанное с нарушением изоляции, ведет к образованию дуги. При относительно небольших расстояниях между фазами, принятых в распределительном устройстве, однофазное замыкание обычно быстро переходит в междуфазовое. При большой мощности системы возникший ток к. з. велик. Горение дуги связано с выделением огромных количеств энергии. Токоведущие части расплавляются, изоляция выгорает.

Однако только небольшая часть энергии дуги (порядка 5—10%) расходуется на расплавление токоведущих частей.

По данным германского инженера Н. Freiberger [3], исследовавшего поведение дуги в распределительном устройстве, дуга при трехполосном к. з. при рабочем напряжении 6000 V и токе, равном 10 000 А, выделяет около $7200 \frac{\text{Cal}}{\text{sec}}$, и только около $200 \frac{\text{Cal}}{\text{sec}}$ затрачивается на расплавление шин.

Большая же часть тепла отдается в окружающую среду. При горении дуги в ограниченном объеме, равном 1 м³, давление могло бы повыситься до 20 ат. В распределительном устройстве с открытыми ячейками такие давления не возникают. В распределительных устройствах, закрытых металлическими кожухами, мощная дуга может привести не только к полному разрушению поврежденной ячейки, но также к разрушению смежных ячеек. Поэтому здесь должны быть приняты особые меры обеспечения надежности.

Обратимся, однако, к распределительному устройству с открытыми ячейками. Дуга, возникшая в каком-либо месте распределительного устройства, стремится к движению вдоль токоведущих частей

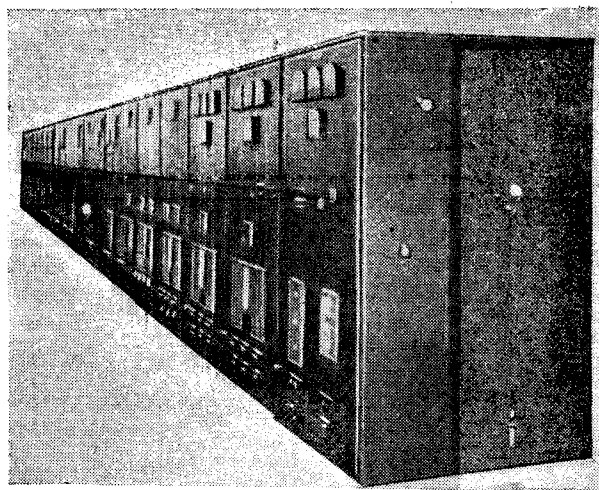


Рис. 2

с огромной скоростью (до 30—70 м/сек). Известны многочисленные случаи, когда дуга распространялась вдоль сборных шин и приводила к разрушениям в частях распределительного устройства, значительно удаленных от места ее возникновения. При открытых ячейках принимается ряд мер, препятствующих распространению дуги. Перегородки между ячейками из огнестойких материалов предназначены ограничить распространение дуги на смеж-

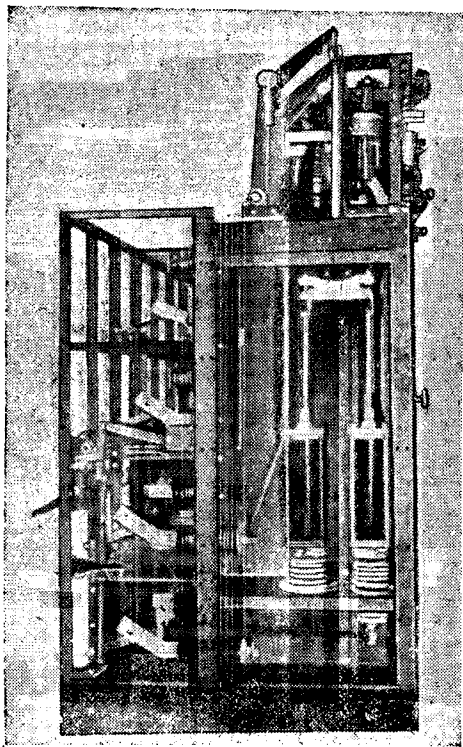


Рис. 3

ные цепи. Горизонтальные полки между сборными шинами и разъединителями препятствуют распространению дуги на сборные шины. Опыты, произведенные германскими фирмами [4], показали полную целесообразность устройства таких горизонтальных полок (рис. 1).

В результате многолетних наблюдений и опытов германские конструкторы рекомендуют при сооружении распределительного устройства соблюдать ряд правил, которые способствуют повышению надежности.

Ячейки должны выполняться открытыми со стороны коридора обслуживания. Металлические сетки служат только для защиты персонала от случайных прикосновений. В коридоре управления должны быть предусмотрены уфронты камер с выключателями прочные стенки из дугостойких материалов для защиты обслуживающего персонала от дуги. Не рекомендуется слишком сокращать габариты здания распределительного устройства. Например, ширина среднего коридора управления при двухрядном расположении должна быть порядка 3—4 м. Замечено, что дуга приводит к большим разрушениям в тесных помещениях, нежели в просторных. Рекомендуется предусматривать мощную аварийную вентиляцию, которая обеспечивает быстрое удаление продуктов горения. Все эти правила относятся к современным распределительным устройствам с аппаратами без масла.

Однако стремление германских конструкторов направлено в основном к тому, чтобы ограничить размеры аварии одной ячейкой, что в значительной

мере и удается в распределительных устройствах с открытыми ячейками при соблюдении указанных выше правил. При этом допускается возможность значительных разрушений в поврежденной ячейке вплоть до проходных изоляторов в горизонтальной полке, отделяющей ячейку от шин. Система шин при этом отключается. Нельзя поэтому считать, что распределительные устройства сборной конструкции с открытыми ячейками в полной мере отвечают требованию надежности. Только такое распределительное устройство, в котором исключалась бы самая возможность образования мощной дуги, можно было бы оценить как вполне надежное. К рассмотрению таких распределительных устройств мы и переходим.

Меры повышения надежности распределительных устройств. Надежность распределительного устройства может быть обеспечена путем разделения фаз и быстрого отключения поврежденных участков распределительного устройства. Перегородки из огнестойкого материала между аппаратами и токоведущими частями, принадлежащими различным фазам, устраняют возможность междуфазовых замыканий, сопровождающихся протеканием больших токов к. з. Любые повреждения в распределительном устройстве могут привести только к однофазным замыканиям, при этом ток ограничивается сопротивлением в нейтрали. Защита, реагирующая на однофазные замыкания, должна быстро отключить поврежденный участок.

Таким образом исключается самая возможность

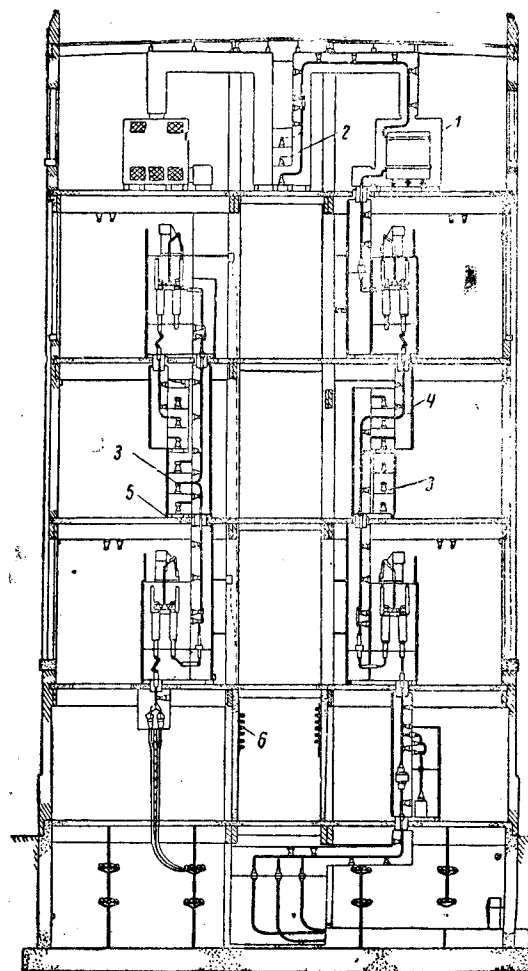


Рис. 4

1 — секционный реактор; 2 — синхронизационная система; 3 — шины фидеров; 4 — кожухи из алюминия; 5 — фарфоровые изоляторы; 6 — кабели управления

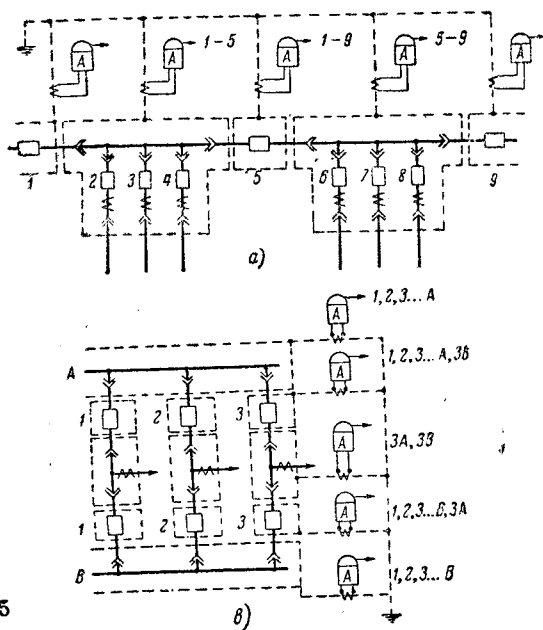


Рис. 5

образования мощной дуги и тяжелых аварий в распределительных устройствах.

Разделение фаз широко применяется в США. В наиболее старых распределительных устройствах США деление фаз выполнялось путем размещения элементов оборудования, принадлежащих различным фазам, в особых этажах. Недостатки такой конструкции очевидны: громоздкость распределительного устройства, трудность в устройстве приводов выключателей и разъединителей, неудобство обслуживания. В новейших установках с применением металлических кожухов разделение фаз выполняется весьма совершенно. Примером может служить распределительное устройство станции Connors Creek [5], построенное в 1932 г. (рис. 4). Комплектные распределительные устройства в металлических кожухах, изготавливаемые всеми фирмами и получившие широкое распространение в США, при большой мощности установки, как правило, выполняются с разделенными фазами [2] (рис. 3 и 6).

При разделении фаз возможно протекание через аппараты и токоведущие части значительных токов, обусловленных междуфазовыми замыканиями только при внешних повреждениях так называемых сквозных токов. При достаточной устойчивости аппаратов и токоведущих частей эти токи не опасны. В тех случаях, когда ответвления от шин защищены реакторами, сквозные токи к. з. ограничены; при этом имеется возможность снизить параметры устойчивости аппаратов, установленных до реактора, например фидерных выключателей.

Наряду с междуфазовыми перегородками и одновременно с ними для устранения междуфазовых замыканий широко применяют (США) изоляцию токоведущих частей.

Необходимо особо отметить, что деление фаз, являющееся эффективным средством повышения надежности всякого распределительного устройства, безусловно необходимо в комплектных распределительных устройствах с металлическими кожухами, поскольку мощная дуга, возникающая в ограниченном пространстве, может привести к самым тяжелым последствиям. Таким образом деление фаз является одним из основных условий создания надежного комплектного распределительного устройства.

Электрическая схема и защита распределительного устройства. Ниже рассмотрены два наиболее характерных вида защиты — дифференциальная токовая и защита током утечки. Оба вида защиты рассматриваются, главным образом, в отношении возможности их применения в той или иной схеме.

Наиболее распространенная и универсальная дифференциальная защита, с успехом применяемая в схемах с одиночной системой, а также в американской схеме с двумя системами шин, характеризуется малым временем действия и в этом отношении весьма удовлетворительна. Однако дифференциальная защита реагирует на однофазное замыкание только при условии, что ток однофазного замыкания достаточен по величине. В системах с нулевой точкой, заземленной через большое сопротивление, к которым относятся все системы Союза средних напряжений, ток однофазного замыкания достигает в лучшем случае 100—150 А. При этих условиях дифференциальная защита не реагирует на однофазные замыкания и, следовательно, неприменима.

Необходимо, однако, показать, что и при большом токе на землю дифференциальная токовая защита была бы все же неприменима при европейской схеме.

Дифференциальная защита в силу особенности самой схемы охватывает обе системы шин. Самостоятельная защита каждой системы, допускающая любые эксплуатационные режимы, невозможна, поскольку при этом потребовались бы переключения токовых цепей на блок-контактах разъединителей, а также переключения цепей оперативного тока, что недопустимо. В связи с этим любое повреждение на одной системе шин неизбежно привело бы к отключению обеих систем даже в том случае, если системы работали бы несинхронно.

Большие трудности возникли бы также при секционированных шинах. При применении дифференциальной защиты пришлось бы предусмотреть секционные выключатели в обеих системах, что сильно усложняет схему и конструкцию распределительного устройства. Можно сказать, что дифференциальная защита при европейской схеме практически неприменима за исключением некоторых наиболее простых частных случаев, например, при несекционированных шинах с малым числом цепей, жестко прикрепленных к той и другой системе шин.

Защита током утечки, реагирующая только на

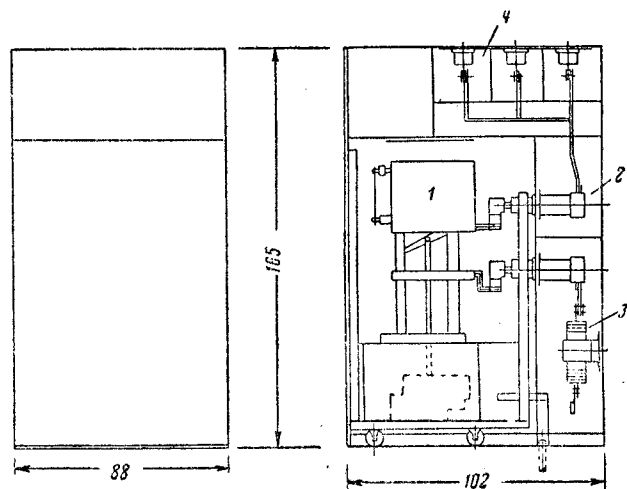


Рис. 6.

1 — выключатель De-ion 15 кВ; 2 — штенсельный контакт; 3 — трансформатор тока; 4 — сборные шины

однофазные замыкания, представляет особый интерес для электрических систем Союза в связи с тем, что этот вид защиты не требует большого тока замыкания на землю. Однако, как будет показано ниже, возможность применения этой защиты связана опять с необходимостью отказа от европейской схемы.

Защита током утечки, применяемая достаточно широко в США, выполнялась первоначально чрезвычайно элементарно. Все металлические нетоковедущие части аппаратов, подлежащие заземлению, изолировались от фундаментов, перекрытий и стен здания и связывались между собой с помощью особой полосы (так называемая fault bus). К заземляющей системе полоса присоединялась только в одной точке через трансформатор тока, во вторичную цепь которого включалось токовое реле. При замыкании на землю ток утечки имеет единственный путь на землю — через трансформатор тока, и приводит, таким образом, в действие токовое реле, замыкающее цепь отключения соответствующих выключателей.

В новейших распределительных устройствах защита осуществляется более совершенно. Необходимым условием правильного ее действия является надежное разделение фаз и хорошая изоляция частей от земли, а также друг от друга.

На рис. 5 показаны принципиальные схемы защиты при одиночной (а) и двойной системах шин (б). Как видно из рисунка, аппаратура должна быть разделена на ряд участков (зон) в соответствии со схемой коммутации. При одиночной системе шин каждая секция с соответствующими выключателями на ответвлениях выделяется в самостоятельную зону; к этой же зоне обычно относятся и выходные линейные разъединители, хотя последние должны были бы быть защищены фидерной защитой. Секционные выключатели защищаются самостоятельно; при повреждении в зоне секционного выключателя отключаются одновременно две смежные секции.

При двойной системе шин каждая система защищается особо; аппараты каждого ответвления разделены на три части. Повреждение на сборных шинах ведет к отключению всех выключателей данной системы шин. Повреждение в выключателе ведет к отключению одной системы шин и второго выключателя ответвления. Наконец, повреждение на выходных разъединителях или реакторе при наличии его ведет к отключению двух выключателей ответвления. Таким образом при двойной системе шин конструкция распределительного устройства получается сложнее по сравнению с одиночной, поскольку здесь требуется разделение распределительного устройства на большее число частей с надежной изоляцией их друг от друга.

При применении комплектных распределительных устройств разделение зон не вызывает больших трудностей. Три основные части комплектной ячейки (шинная коробка, коробка выключателя и выходная коробка) изолируются друг от друга с помощью специальных прокладок. Кроме того, коробки выключателей и выходные коробки должны быть изолированы от смежных ячеек.

Рассмотренное выше распределительное устройство станции Connors Creek с одиночной системой шин, приведенное на рис. 4, защищено током утечки. В нем применены фарфоровые изоляторы, на которых покоятся каркасы с аппаратами.

Достоинством рассматриваемой защиты являются ее чувствительность и малое время действия, в связи с чем размеры разрушений в распределительных устройствах сводятся к минимуму. К числу достоинств защиты следует также отнести простоту схемы и относительно небольшое число потребных трансформаторов тока по сравнению, например, с дифференциальной защитой. Однако первые два указанных выше качества (чувствительность и быстрота действия) являются основными. Отметим, что *разделение фаз, предпринятое в целях обеспечения надежности, в то же время решает вопрос защиты в условиях малого тока на землю.* Однако защита током утечки, с успехом применяемая при одиночной системе и при двойной американской системе шин, невыполнима при европейской схеме.

В европейской схеме обе системы шин со всеми выключателями в пределах одной секции могут быть включены только в одну общую зону защиты. Отделить конструктивно системы шин друг от друга с тем, чтобы иметь возможность относить любую цепь по желанию к той или другой зоне защиты, невозможно. Всякое повреждение на резервной системе шин неизбежно приведет к отключению обеих систем шин в пределах одной секции. Это означает, что в отношении защиты обе системы шин должны рассматриваться как одно целое, что ограничивает возможности использования резервной системы.

При секционированных шинах, так же как при дифференциальной защите, потребовалось бы иметь секционные выключатели в обеих системах, что усложняет конструкцию распределительного устройства и делает нецелесообразным деление шин на большое число секций в целях повышения надежности.

Таким образом при европейской схеме оба вида защиты (дифференциальная и защита током утечки) неприменимы. Все это говорит о *неполноценности европейской схемы* коммутации, где возможны только примитивные методы защиты, например защита дистанционного типа с временем действия порядка 0,7 сек.

Электрическая схема и конструкция комплектного распределительного устройства. При одиночной системе шин конструкция комплектной ячейки весьма проста (рис. 6). Ячейка разделена, как было уже указано, на три коробки, к каждой коробке обеспечен безопасный доступ. При американской схеме каждая цепь составляется из двух однотипных ячеек, устанавливаемых друг против друга в двух различных рядах. Соединение двух ячеек одной цепи выполняется под перекрытием. При такой конструкции обе системы шин с соответствующими аппаратами расположены на достаточном расстоянии друг от друга, чем обеспечено удобство ремонта и высокая надежность распределительного устройства в целом. Разделение фаз при одиночной системе шин как простейшей схеме осуществляется достаточно просто.

При европейской схеме конструкция комплектной ячейки значительно сложнее. Вторая система шин требует для своего размещения особой коробки. Следовательно, при европейской схеме комплектная ячейка должна состоять по крайней мере из четырех частей, и габариты ее увеличиваются. При европейской схеме невозможен отказ от шинных разъединителей рубящего типа как в случае оди-

ночной системы. Наконец, при европейской схеме с более сложными соединениями между шинами и выключателем значительно труднее осуществить разделение фаз.

На рис. 7 показана комплектная ячейка завода «Уралэлектромашина» для небольшой мощности с выключателем ВМГ-22. В этой конструкции шинные разъединители заменены так называемым селекторным переключателем, что дает некоторое упрощение конструкции. Все же ячейка получилась достаточно сложной. Деления фаз здесь не предусмотрено.

При больших мощностях, как указывалось выше, строятся комплектные распределительные устройства, в которых выключатели и прочие аппараты устанавливаются на неподвижном каркасе. В этом случае шинные разъединители не могут быть размещены в камере выключателя и должны быть помещены в особых коробках. Число коробок комплектной ячейки при этом увеличивается до 6. Едва ли такая конструкция комплектной ячейки окажется приемлемой.

Большой недостаток распределительного устройства, выполненного по европейской схеме, заключается в том, что обе системы шин должны быть расположены в непосредственной близости друг от друга, что во всяком случае не способствует повышению надежности распределительного устройства. При американской схеме это не имеет места.

Конструктивные трудности, возникающие при проектировании комплектных распределительных устройств большой мощности по европейской схеме, несомненно, кроются опять-таки в характерных особенностях этой схемы. Все это говорит о нецелесообразности изготовления комплектных распределительных устройств, требующих разделения фаз и совершенных методов защиты применительно к этой схеме.

Две различные схемы и два типа распределительного устройства. Может возникнуть вопрос, почему же многие ведущие европейские фирмы строят комплектные распределительные устройства применительно к европейской схеме и какова надежность этих устройств? В отношении этих устройств необходимо сказать следующее: комплектные распределительные устройства строятся европейскими фирмами только для установок с небольшими токами к. з., мощность выключателей обычно не превышает 100—200 MVA. Эти распределительные устройства применяются в качестве вторичных на небольших промышленных подстанциях, распределительных пунктах, главным образом в стесненных условиях монтажа. Комплектные распределительные устройства малой мощности, о которых идет речь, выполняются с неразделенными фазами, и никакой особой защиты для установок рассматриваемого типа, конечно, не предусматривается.

Достаточно высокая надежность этих распределительных устройств приобретает прежде всего за счет высокого качества аппаратов и тщательного выполнения. Это, однако, не исключает возможности повреждений в таком распределительном устройстве, но последствия такого повреждения при относительно небольших токах к. з., очевидно, не слишком опасны, учитывая, конечно, назначение установок, о которых идет речь, и требования, предъявляемые к ним.

В качестве же основных распределительных устройств электростанций и крупных подстанций

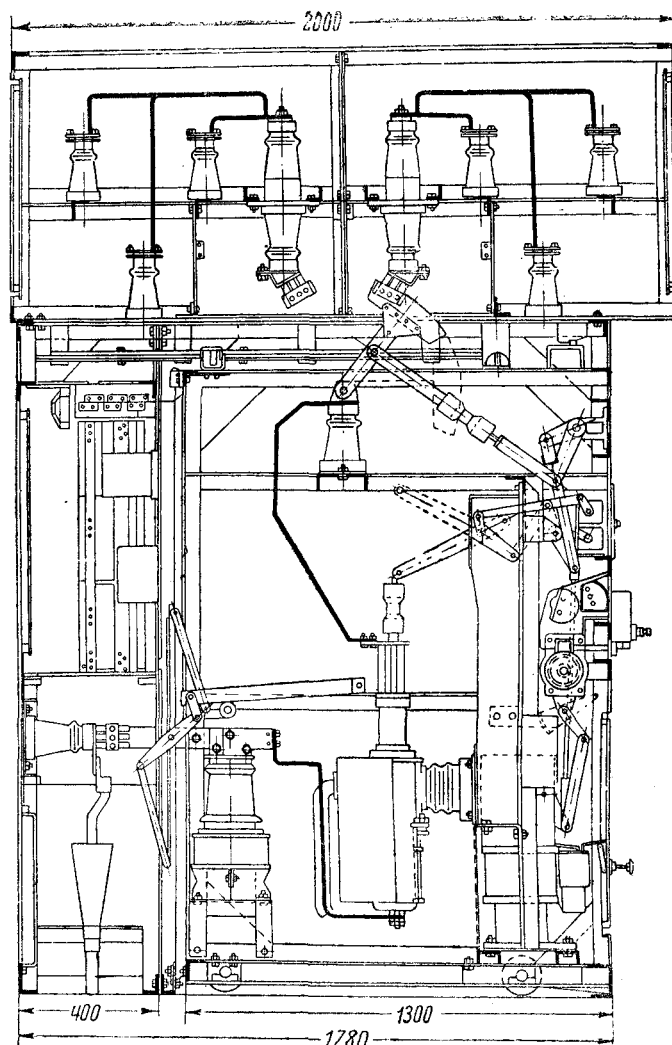


Рис. 7

в Германии применяются исключительно распределительные устройства сборной конструкции с открытыми ячейками.

Комплектные распределительные устройства, безусловно требующие при достаточно большой мощности разделения фаз и надежной защиты, целесообразно строить применительно к более простой одиночной системе шин. Двойная система шин (только по американскому принципу) может быть получена, если в этом встречается необходимость, из двух комплектов с одиночными шинами, соединенных перемычками.

Таким образом в результате произведенного анализа электрических схем, методов защиты и различных конструктивных решений выявились с большой четкостью два основных типа распределительных устройств.

1. Сборная конструкция с открытыми ячейками без деления фаз применительно к европейской схеме с примитивной защитой шин, например дистанционной, с относительно большим временем действия (порядка 0,7 сек).

2. Комплектные распределительные устройства в металлических кожухах применительно к одиночной кольцевой секционированной системе шин или к американской схеме с разделенными фазами и совершенной быстродействующей защитой дифференциального типа при достаточном токе на землю или защитой током утечки.

Из изложенного выше следует необходимость решительного отказа от европейской схемы, в осо-

бенности при применении комплектных распределительных устройств, и перехода на схемы американского типа. Основное внимание должно быть сосредоточено на схемах с одиночной системой шин как наиболее простых.

В США схемы с одиночными шинами получили широкое распространение. Крупнейшая паровая станция в мире Hudson Avenue мощностью 770 MW выполнена с одиночной системой шин (1922 г.). Таким же образом выполнено после реконструкции распределительное устройство станции Connors Creek мощностью 330 MW (1932 г.). В последнее время ряд старых станций реконструирован, при этом взамен старых распределительных устройств

заводами новейших аппаратов, в частности выключателей, уместно поставить вопрос о перспективах развития распределительных устройств в электрических системах Союза.

В настоящее время в системах Союза применяется исключительно европейская схема. Для станций и подстанций, подлежащих постройке в ближайшее время, было бы нереально ставить вопрос о коренном изменении принципов коммутации. Очевидно, на этих установках будет применена хорошо освоенная европейская схема. Поэтому здесь может быть применено только распределительное устройство сборной конструкции с открытыми ячейками по типу германских. Необходимо

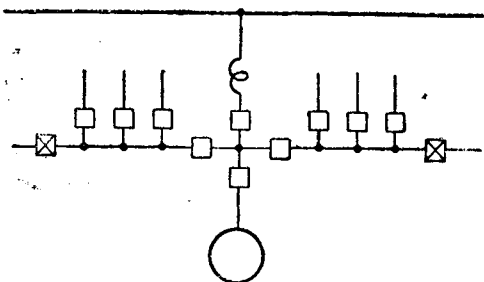


Рис. 8

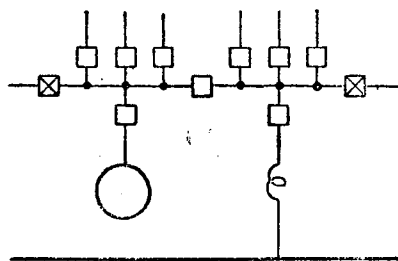


Рис. 9

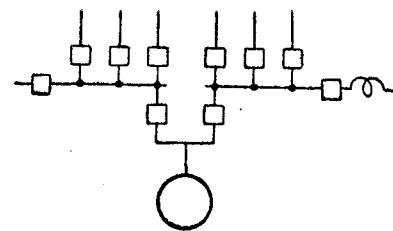


Рис. 10

с двойной системой шин построены новые с одиночной системой, например, станция Water—Side № 2 (Нью-Йорк) мощностью 312 MW, реконструированная в 1937 г., а также станция Schuylkill, реконструированная в 1938 г.

Схемы с одиночной системой шин показаны на рис. 8, 9. По этой схеме выполнены станции Hudson Avenue, Connors Creek и ряд других станций. На этих станциях секционные реакторы включены по звезде. Станция Water-Side № 2 выполнена по другой схеме — с реакторами, также включенными по звезде. Однако схема может быть построена по тому же принципу с секционными реакторами, включенными в кольцо. По такой схеме выполнено распределительное устройство станции Shuylkill. Вариант схемы, показанный на рис. 9, имеет то преимущество, что источники питания — генераторы — присоединены одновременно к двум секциям с помощью двух выключателей, и отключение секции не связано с потерей источников питания. Последняя схема особенно рекомендуется как обеспечивающая наибольшую надежность.

Во всех схемах с одиночной системой шин надежность электроснабжения обеспечивается делением шин на секции относительно небольшой мощности и присоединением фидеров всех ответственных потребителей к различным секциям. При этом условия перерывы электроснабжения не могут иметь места даже при наиболее тяжелых повреждениях на шинах или в периоды ревизии шин. Секционирование на большое число секций при одиночной системе не вызывает трудностей ни чисто конструктивных, ни в части защиты.

Нельзя игнорировать опыт США, где установки весьма большой мощности работают в течение многих лет с одиночной системой шин. Опыт США весьма интересен и сулит большие преимущества в смысле надежности электроснабжения при относительно небольшом расходе оборудования.

Перспективы развития распределительных устройств в СССР. В связи с освоением союзными

одновременно с освоением новой современной аппаратуры детально разработать конструкцию сборных распределительных устройств, установить основные размеры их и наладить изготовление строительных деталей, нужных для сооружения стандартных ячеек такого типа. Аппаратные заводы должны организовать выпуск оборудования применительно к стандартным распределительным устройствам. Многие элементы распределительных устройств нужно поставлять комплектно: шкафы управления с встроенными приборами управления, тележки с выключателями и измерительными трансформаторами и пр.

Было бы, однако, неправильно ограничиться этими рекомендациями, так как распределительные устройства по европейской схеме с открытыми ячейками сборной конструкции не обеспечивают полной надежности и менее совершенны в отношении условий сооружения установки. Необходимо поэтому немедленно приступить к производству комплектных распределительных устройств в металлических кожухах с разделенными фазами и защитой, реагирующей на однофазные замыкания, очевидно, с защитой током утечки как единственной защитой, применимой при малом токе замыкания на землю¹.

Применение комплектных распределительных устройств связано с решительным отказом от европейской схемы. Это, однако, ни в коем случае не означает необходимости перехода к американской схеме с двойной системой шин.

Нет никакой надобности прибегать в огромном большинстве случаев к схеме с двойной системой шин, в особенности при комплектных распределительных устройствах. Это относится в полной мере к большинству проектируемых и строящихся в настоящее время станций и подстанций средней мощности порядка 25 MW и выше, на которых с успе-

¹ Вопрос об увеличении тока на землю здесь не затрагивается.

хом могли бы быть применены простые, весьма компактные и надежные комплектные распределительные устройства с одиночной секционированной системой шин. При этом сократятся сроки сооружения распределительного устройства; надежность же электроснабжения и безопасность обслуживания повысятся.

Необходимо поэтому начать опыт эксплуатации таких распределительных устройств с тем, чтобы по мере накопления его все больше внедрять совер-

шенные комплектные распределительные устройства в союзные энергосистемы.

Литература

1. G. Meiners. AEG-Mitt. № 3, 1938.
2. C. A. Schell. GER № 12, 1938.
3. H. Freiburger. ETZ № 38, 1940.
4. I. Sihler. ETZ № 3, 1936.
5. A. P. Fugill. El. Eng. № 1, 1934.
6. A. F. Hartung. El. World, стр. 1295, 1939.
7. М. Д. Залышкин. „Электричество“ № 5, 1937.

Новейшие конструкции асинхронных двигателей

*Канд. техн. наук А. С. КАНТЕР, проф. А. Н. ЛАРИОНОВ
и канд. техн. наук А. И. МОСКВИТИН*

Всесоюзный электротехнический институт

Асинхронный двигатель за последнее время получил большое развитие. Заметно упростилась конструкция, повышена надежность в эксплуатации и в особенности его приспособляемость к различным типам приводов, применяемых в самых разнообразных областях промышленности.

В статье дан обзор¹ новейших иностранных конструкций асинхронных двигателей, принятых в массовое и серийное производство. В дальнейшем изложении развитие асинхронных двигателей рассматривается по следующим показателям: 1) модификации; 2) способ защиты двигателя; 3) двигатели специального выполнения; 4) технологические процессы; 5) изоляция; 6) энергетические характеристики.

Модификации. Несколько лет назад асинхронные двигатели выполнялись только в двух вариантах — двигатели малой мощности — с короткозамкнутым ротором и двигатели большей мощности — с фазовым ротором. Оба варианта осуществлялись с минимально возможным скольжением, принимая, конечно, во внимание для двигателя с короткозамкнутым ротором условия пуска в ход.

За последние годы двигатели с фазовым ротором постепенно теряют свое промышленное значение и на первый план выступает двигатель с короткозамкнутым ротором. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором проектируются в настоящее время так, что они могут удовлетворять почти всем требованиям в отношении характеристик начального и максимального моментов, пускового тока, к. п. д., коэффициента мощности и т. д.

Все требуемые специальные характеристики получаются в основном за счет изменения формы пазов ротора. Наряду с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором и с нормальным круглым пазом в настоящее время очень большое распространение получили двигатели с ротором Бушера, с ротором с глубоким пазом, с пазами повышенного рассеяния и с ротором увеличенного сопротивления.

Асинхронные двигатели, в зависимости от запросов потребителя, выполняются с различными пусковыми моментами. Чрезмерно большой пусковой момент вызывает толчки и, как следствие этого, —

повышенный износ оборудования. Во многих случаях в связи с этим приходится выполнять двигатели с небольшим пусковым моментом. Особое внимание на величину пускового момента обращается в закрытых типах электродвигателей, габариты которых определяются условиями охлаждения машины.

При развороте двигателя в кривой моментов наблюдаются провалы. Поэтому, помимо понятий пускового момента (момента при неподвижном двигателе), номинального и максимального моментов введено понятие минимального момента.

Для уменьшения провалов в кривой моментов ротор выполняют со скосом пазов. Благоприятно сказывается на уменьшении провалов также изоляция короткозамкнутой клетки от железа ротора. Изоляция клетки снижает, кроме того, добавочные потери и повышает к. п. д. двигателя.

Приведем более подробные данные о различных модификациях асинхронных двигателей.

Американские фирмы выполняют² асинхронные двигатели со следующими пусковыми характеристиками (при нормальном скольжении в 3—5%): 1) с нормальным моментом и нормальным пусковым током, 2) нормальным моментом и пониженным пусковым током, 3) с большим пусковым моментом и пониженным пусковым током.

Электродвигатели с нормальным моментом и нормальным пусковым током применяются для одиночного или группового привода станков, насосов, вентиляторов, воздуходувок и т. п. оборудования, работающего при постоянной нагрузке. Электродвигатели этого типа обладают максимальным к. п. д. и коэффициентом мощности в сравнении с другими типами асинхронных двигателей той же мощности и того же числа оборотов. Этот тип двигателя является наиболее распространенным.

Электродвигатели с нормальным моментом и пониженным пусковым током применяются для тех же приводов, что и первый — с нормальным пусковым током, но в тех случаях, когда необходим пониженный пусковой ток.

Электродвигатели с большим пусковым моментом и пониженным пусковым током применяются для привода дробилок, плунжерных насосов, ленточных

¹ В обзоре использован ряд каталогов и проспектов европейских (английских, бельгийских и пр.) и американских (США) фирм.

² По данным фирмы GEC (каталог 1940 г.) и материалам, предоставленным инж. И. И. Петровым и инж. Л. Б. Гейлер.

I Пуск непосредственным включением						
Вид ротора	Форма пазов	Мощность кВт	Начальный момент	Минимал. момент	Пусковой ток	Вид характеристик (рис 2)
Ротор с вытеснением тока		0.075-1.1 1.5-6.5	2-2.2	1.8-1.9	4-5	a
Ротор бушера (нормальное выполнение)		7.5-25 7.5-30	2-2.2	1.7-1.8	4.5-5	a
		35-125 160-500	1.8-2.1 1.5-1.8	1.6-1.9 1.3-1.6	4.8-5.5 4.4-5	b
Ротор с повышенным сопротивлением	С простой беличьей клеткой	0.075-1.1 0.25-6.5	2.1-2.4	1.9-2.2	4-4.4	c
	Ротор бушера (спец. выполнение)	7.5-25 7.5-30	2.1-2.4	1.8-1.2	4.2-4.7	c
Ротор с повышенным рассеянием	Нормальное выполнение	7.5-25 7.5-30	1	0.85	4	d
		35-125 160-500	0.7-0.8 0.6-0.7	0.7-0.8 0.6-0.7	4.2-4.8 4-4.5	e
	Выполнение с особо повышенным рассеянием	30-100 130-400	0.5-0.6 0.4-0.5	0.5-0.6 0.4-0.5	3.6-4 3.6-4	f
II Пуск с переключением со звезды на треугольник						
Ротор с вытеснением тока		0.6-1.1 0.8-6.5 1.5-6.5	0.65-0.7	0.6	1.3-1.6	a
Ротор бушера (нормальное выполнение)		7.5-25 7.5-30	0.65-0.7	0.55-0.6	1.5-1.6	a
		35-125 160-500	0.6-0.7 0.5-0.6	0.5-0.6 0.45-0.55	1.65-1.7 1.3-1.65	b
Ротор с повышенным сопротивлением	С простой беличьей клеткой	0.6-1.1 0.8-6.5	0.7-0.8	0.6-0.7	1.3-1.5	c
	Ротор бушера (спец. выполнение)	7.5-25 7.5-30	0.7-0.8	0.55-0.65	1.4-1.6	c
Роторы с повышенным рассеянием выполняются только для непосредственного включения						

Число оборотов $n_s = 1500$

Рис. 1. Начальный и минимальный моменты и пусковой ток асинхронного двигателя ($n_s = 1500$ об/мин) при различных конструкциях короткозамкнутого ротора

конвейеров, пускаемых под нагрузкой, и т. п. приводов, требующих большого пускового момента.

Все передовые европейские фирмы также выполняют асинхронные двигатели различных модификаций для разных условий пуска.

На рис. 1 представлен ряд различных выполнений фирмой Саксенверк пазов ротора для получения необходимых пусковых характеристик.

На рис. 2 приведены кривые пусковых моментов, соответствующие конструкциям пазов, представленным на рис. 1.

Помимо нескольких модификаций при нормальном скольжении, американские фирмы выполняют асинхронные двигатели с различными повышенными скольжениями, как например: для привода штамповальных прессов, кузнечных прессов и т. п. машин с большими маховыми массами и ударной нагрузкой

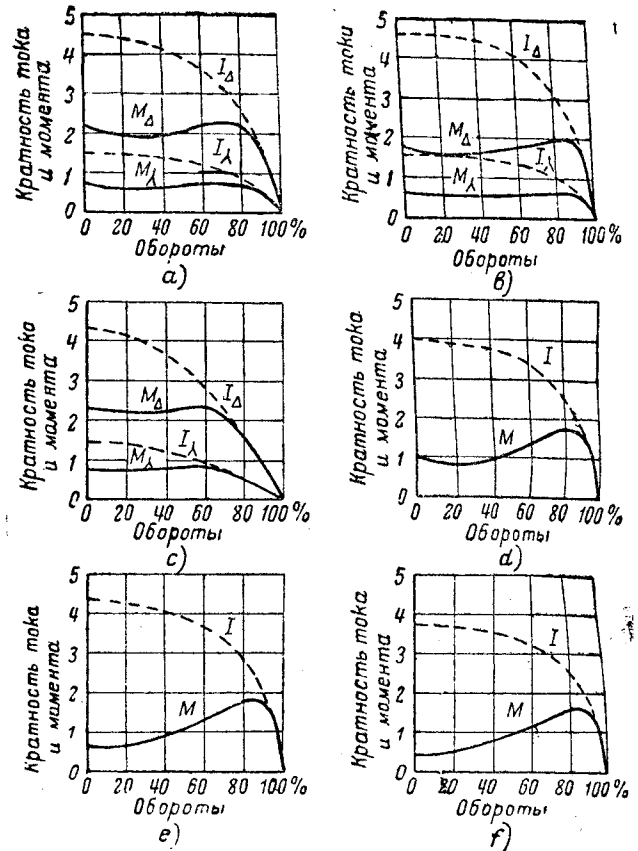


Рис. 2. Пусковые характеристики двигателей с короткозамкнутым ротором, выполненными согласно данным рис. 1.}
 a — асинхронный двигатель с ротором с вытеснением тока мощностью до 6,5 кВт или с ротором Бушера мощностью от 7,5 до 30 кВт; b — двигатель с ротором Бушера мощностью от 35 до 500 кВт; c — двигатель с ротором с повышенным сопротивлением мощностью до 30 кВт; d — двигатель с ротором с повышенным рассеянием мощностью до 30 кВт; e — двигатель с ротором с повышенным рассеянием мощностью от 35 до 500 кВт; f — двигатель с ротором с особо повышенным рассеянием мощностью от 30 до 400 кВт

при числе ударов в минуту, меньшем 25, американские фирмы выполняют двигатели со средним пусковым током, большим пусковым моментом и скольжением от 7 до 12%.

Для привода элеваторов, кранов, лебедок, подъемников, рольгангов и т. п. машин с частым пуском, или реверсом, либо требующих быстрого разгона при пуске, предусмотрены двигатели с большим пусковым током, большим пусковым моментом и скольжением от 15 до 17%.

Все европейские фирмы также выполняют асинхронные двигатели в различных модификациях с повышенным скольжением.

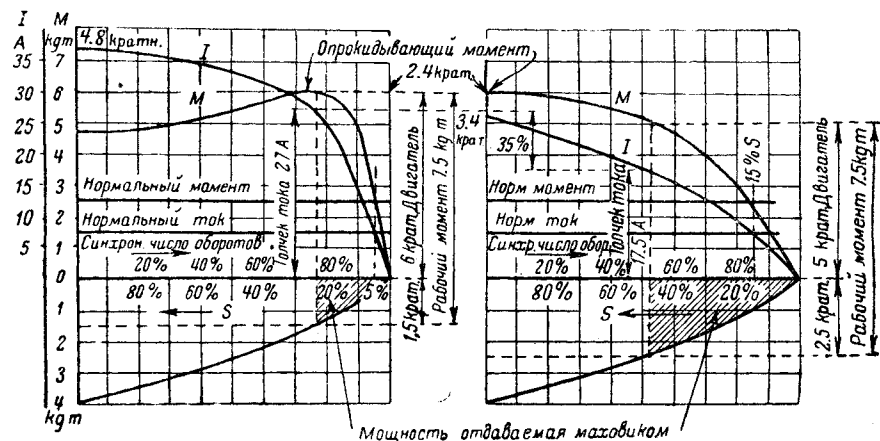


Рис. 3. Диаграмма работы двигателя с глубоким пазом с нормальным скольжением (слева) и двигателя с повышенным скольжением в установках с маховиками (Саксенверка)

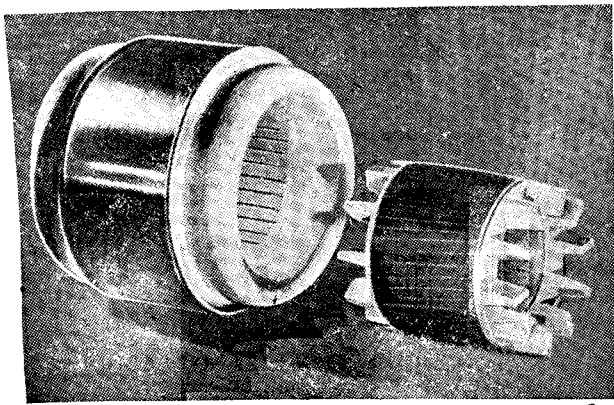


Рис. 4. Двигатель с обмазкой лобовых частей обмотки статора

Преимущества применения двигателей с повышенным скольжением в приводах с маховиком наглядно иллюстрируют диаграммы рис. 3. Как видно из этого рисунка, в асинхронном трехфазном двигателе с глубоким пазом и нормальным скольжением наибольший требуемый момент (7,5 kgm) получается в основном от самого двигателя. Соответственно этому кратность толчка тока, несмотря на наличие маховика, получается очень большой — 3,6. Двигатель нагружается почти до опрокидывающего момента. В асинхронном двигателе с повышенным скольжением тот же момент создается в большей мере за счет живой силы маховика. Толчок тока получается кратности 2,33. Нагрузка двигателя далеко не доходит до опрокидывающего момента.

Способы защиты двигателей. Иностранные заводы выпускают двигатели в следующих выполненных: 1) открытые двигатели, 2) защищенные от капежа, 3) защищенные от струй воды, 4) закрытые двигатели без обдува и с внешним обдувом.

Кроме указанных выше форм защиты, во многих случаях применяется специальная обмазка, которой покрывают лобовые части обмотки статора.

На рис. 4 представлена фотография статора двигателя с обмазкой. Обмазка позволяет использовать для ряда приводов двигателя защищенного выполнения вместо закрытых.

Следует, однако, подчеркнуть, что двигатели с обмазкой лобовых частей не равноценны в смысле защиты закрытым двигателям. В металлообрабатывающей промышленности, в цехах обработки чугуна, несмотря на применение обмазки, возможны аварии вследствие засорения междужелезного пространства двигателей мелкой чугунной стружкой. Также и

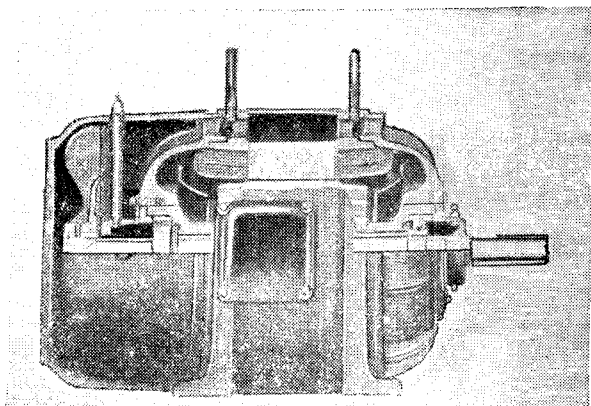


Рис. 5. Закрытый двигатель с внешним обдувом (фирма GEC) (разрез)

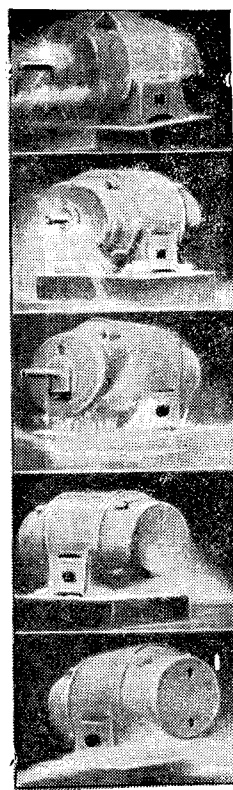


Рис. 6. Испытания двигателя, защищенного от струй воды (фирма Луис Аллис)

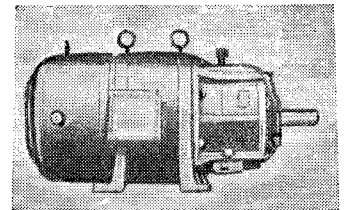
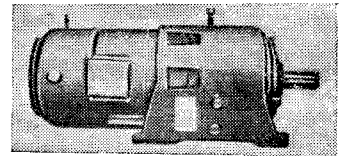
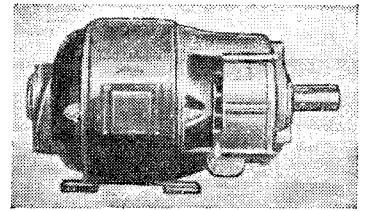


Рис. 7. Редукторные двигатели, внешний вид (фирма GEC)

в кузнечно-прессовых цехах сажа вместе с маслянистыми веществами набивается в междужелезное пространство. Применение обмазки ухудшает, в известной степени, теплоотдачу обмотки статора и снижает вследствие этого длительную мощность двигателя.

Снижение мощности закрытого двигателя с внешним обдувом по сравнению с защищенным лежит примерно в тех же пределах, что и для двигателя с обмазкой лобовых частей. Поэтому за границей получило большое распространение конструкция совершенно закрытых двигателей с внешним обдувом мощностью от 0,135 до 370 kW при 1500 об/мин (рис. 5).

Каким жестким испытаниям подвергаются защищенные от струи двигатели, видно из фотографий рис. 6, где показано испытание двигателя на защиту при воздействии струи воды. По уверению фирмы, после испытания обмотка двигателя оказалась совершенно сухой.

Двигатели специального выполнения. Для получения низких чисел оборотов, необходимых для ря-

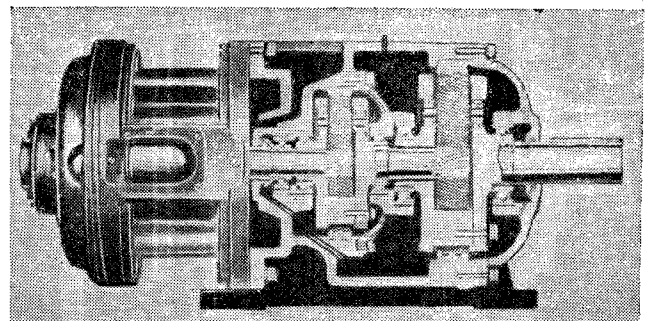


Рис. 8. Редукторный двигатель фирмы GEC с двойной передачей на 63,5—13 об/мин (разрез)

да приводов, широко применяются *редукторные двигатели*, в которых компактная зубчатая передача составляет одно конструктивное целое с двигателем.

Редукторный двигатель отличается компактностью, высокими энергетическими показателями, малым габаритом и весом. Преимуществом его также является значительная экономия меди по сравнению с тихоходным двигателем той же мощности.

На рис. 7 даны фотографии внешнего вида редукторных двигателей. На рис. 8 представлен редукторный двигатель в разрезе.

Двигатели со встроенными тормозами. Для многих приводов — подъемников, грузовых и судовых лебедок, кранов и т. п. — необходимо после выключения тока немедленное заторможивание двигателя. Быстродействующее торможение необходимо также для экономии рабочего времени в приводе многих металлообрабатывающих и других станков.

Для торможения асинхронных электродвигателей применяют различные способы — торможение током, торможение постоянным током, включаемым в обмотку статора, и т. п.

Все эти способы торможения требуют затраты электрической энергии, вызывают излишний нагрев обмотки статора и по скорости торможения уступают тормозному эффекту, достигаемому в двигателях, с непосредственно действующими тормозами. Поэтому за границей получили большое распро-

странение асинхронные двигатели со встроенными, в большинстве случаев дисковыми, тормозами, автоматически действующими при выключении тока.

Двигатели с дисковыми тормозами выполняются мощностью от $1/2$ до 15 кВт. На рис. 9 и 10 представлены две конструкции асинхронных двигателей со встроенными тормозами: обычная конструкция с дисковыми тормозами, управляемыми электромагнитом (рис. 9, фирма GEC), и оригинальная конструкция электродвигателя со встроенным тормозом, управление которым производится полем якоря электродвигателя (рис. 10, фирма Саксенверк).

Усовершенствование технологических процессов. Большое значение для снижения стоимости электрических машин имеет введение новых способов производства. Одним из таких способов является литье под давлением.

Литье под давлением широко применяется для производства ряда деталей электрических машин. Фирма Саксенверк (рис. 11) применяет литье под давлением для производства остовов асинхронных электродвигателей мощностью до 9 л. с. (при 1500 об/мин).

Остов получается заливкой пакета железа статора силумином под высоким давлением. Преимущество такой конструкции — большая жесткость статора при меньших внешних размерах. Силумин при остывании крепко схватывает листы железа статора и поэтому в значительной степени снижает магнитный шум машины. Эта конструкция также обеспечивает лучший отвод тепла от железа статора к остову.

Дальнейшим усовершенствованием технологического процесса в производстве асинхронных двигателей является выполнение вентилятора ротора в ви-

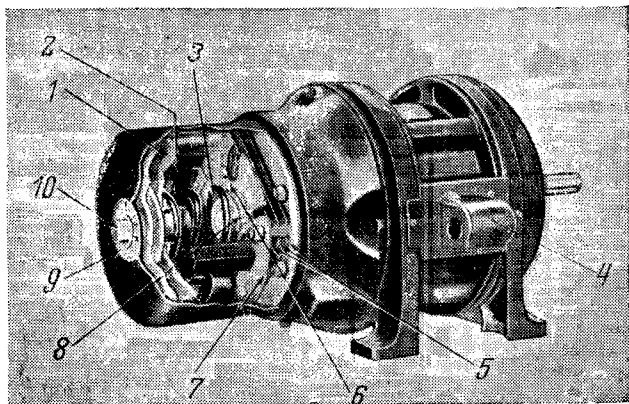


Рис. 9. Двигатель GEC со встроенным тормозом (разрез).

1 — основание магнитопровода тормоза, 2 — обмотка электромагнита тормоза, 3 — стальная пружина для торможения, 4 — клеммные коробки, 5 — тормозная, износоустойчивая прокладка из асбестовой массы, 6 — шайба на якоре, 7 — вращающаяся шайба, скрепленная непосредственно с шестерней, 8 — шестерня, закрепленная на валу электродвигателя, 9 — шкала для определения момента, 10 — винт для регулирования крутящего момента

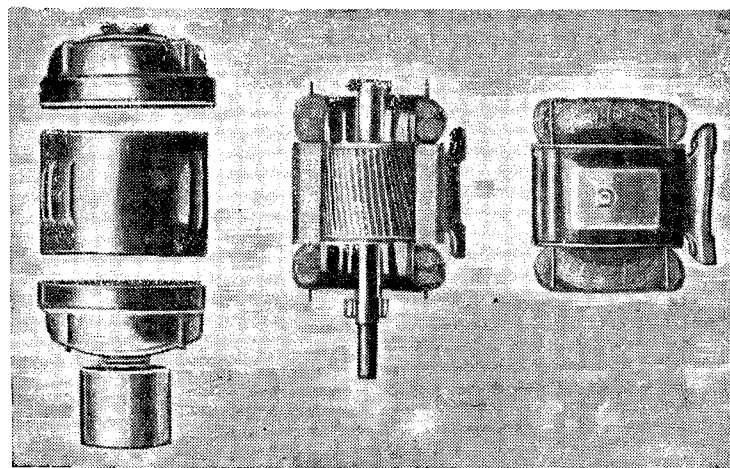


Рис. 11. Двигатель с остовом, образованным заливкой пакета (железа статора) силумином

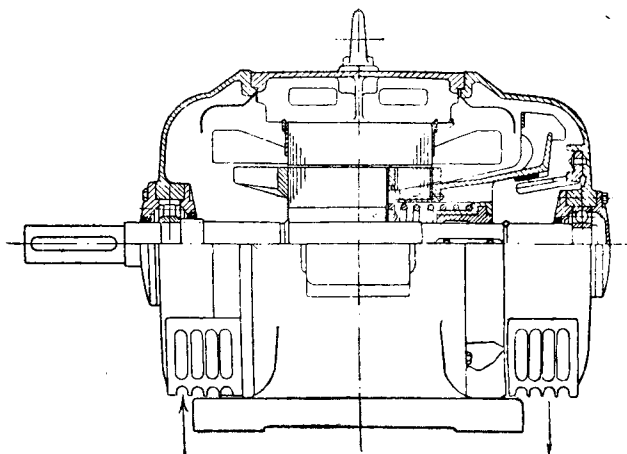


Рис. 10. Двигатель фирмы Саксенверк со встроенным тормозом, управляемым от поля якоря (внешний вид и разрез)

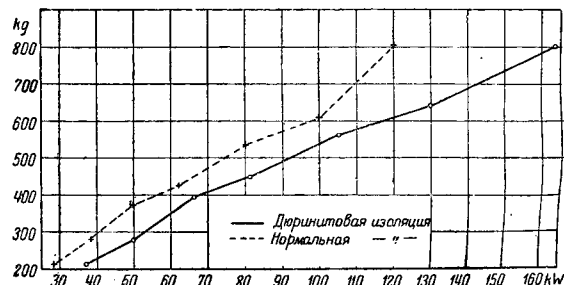


Рис. 12. Веса двигателей ($n_s = 1500$ об/мин) с нормальной и дюринитовой изоляцией

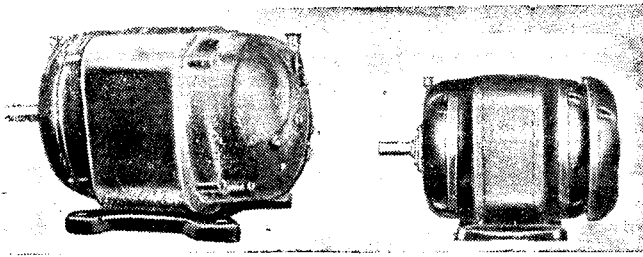


Рис. 13. Сравнительные размеры трехфазных двигателей Балдор 7,5 л. с., 220 В, 60 Гц, 1725 об/мин с нормальной и стеклянной изоляцией. Слева — вентилируемый двигатель с изоляцией класса А. Превышение температуры 38° С, вес около 125 кг, к. п. д. = 86%, $\cos \varphi = 0,91$; справа — закрытый двигатель с внешним обдувом со стеклянной изоляцией. Превышение температуры 52° С, вес 83 кг, к. п. д. = 88%, $\cos \varphi = 0,9$

де отливки из алюминия. Отливка вентилятора производится под высоким давлением, как одно целое, с заливкой клетки ротора. Отливка под высоким давлением клетки ротора устраняет раковины, трещины и улучшает тем самым качество отливки.

В производстве асинхронных двигателей получает широкое применение штамповка. Штамповкой изготавливается ряд деталей, выполнявшихся ранее отливкой. Так, фирма АЕГ для асинхронных двигателей малой мощности, до 2,2 кВт, применяет остовы из стали с приваренными штампованными лапами и штампованные подшипниковые щиты. В двигателях большей мощности, до 27 кВт, в которых по соображениям жесткости конструкции необходимо применять литые подшипниковые щиты, также выполняют остовы с приваренными лапами.

Изоляция. Сравнительно недавно почти все без исключения асинхронные двигатели, независимо от типа, установки и условий работы, выполнялись с одним видом изоляции — класса А. В настоящее время за границей широко стали применять в асинхронных двигателях различные виды теплостойкой изоляции (класс В).

Так, фирма Сименс выпускает, помимо двигателей с нормальной изоляцией, двигатели с теплостойкой, дюринитовой (Durignit), асбесто-слодяной изоляцией, допускающей превышение температуры меди 120° С.

Длительная мощность, развиваемая двигателем при таком превышении температуры, значительно повышается (в среднем на 20—30%) по сравнению с номинальной мощностью двигателя того же габарита и оборотов, но с изоляцией класса А.

Двигатели с дюринитовой изоляцией применяются, главным образом, в тех приводах, где возможна большая перегрузка в течение длительного времени, а также для установок с высокой температурой охлаждающего воздуха или где возможен значительный нагрев двигателя от лучеиспускания соседних горячих тел.

Вследствие небольшого веса двигателей с дюринитовой изоляцией применение их целесообразно на транспорте, в передвижных установках и везде, где играют большую роль малые габариты и вес машины. Следует отметить, что, помимо положительных свойств (малый вес, возможность работы при длительных перегрузках, при высокой температуре окружающей среды), двигатели с дюринитовой изоляцией имеют и некоторые недостатки, как-то: низкий к. п. д. и коэффициент мощности, нестабильность характеристик в зависимости от нагрева (число оборотов изменяется в зависимости от нагрева

Рис. 14. Сравнение общих весов асинхронных короткозамкнутых двигателей ($n_s = 1000$ об/мин) американских (А, мощность приведена к 50 Гц) и европейских (В) фирм

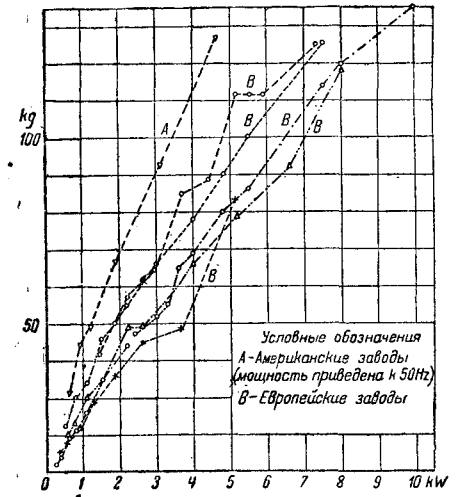
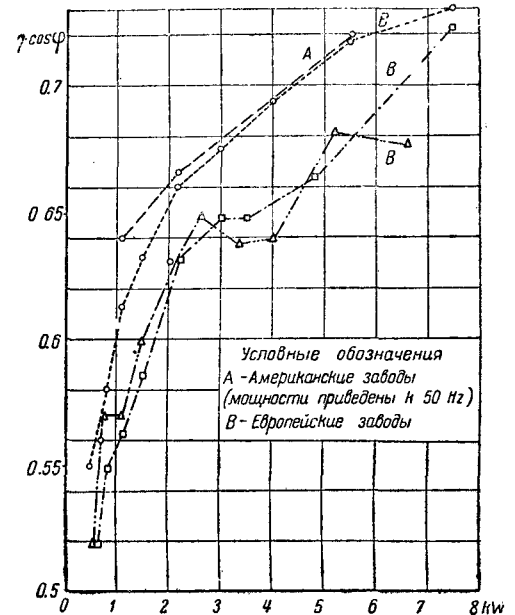


Рис. 15. Сравнение коэффициента мощности и к. п. д. асинхронных короткозамкнутых двигателей ($n_s = 1000$ об/мин) американских (А, мощности приведены к 50 Гц) и европейских фирм (В)



обмотки двигателя) и пониженная кратность пускового момента по отношению к моменту, соответствующему наибольшей допустимой длительной мощности. Следует отметить, что для подшипников двигателей с дюринитовой изоляцией необходимо применять особую смазку.

На рис. 12 даны соотношения весов асинхронных двигателей (при 1000 об/мин) с нормальной и дюринитовой изоляцией.

В США с 1938 г. выпускаются асинхронные двигатели с теплостойкой стеклянной изоляцией. Применением стеклянной изоляции достигается, по уверению фирмы, не только уменьшение габаритов и веса, но и более высокий к. п. д. двигателя. Очевидно, повышение к. п. д. обусловлено изменением расчетных параметров машины, в частности, уменьшением перегрева обмоток статора по сравнению с допустимым для стеклянной изоляции. Тонкослойность стеклянной изоляции также позволяет более экономно использовать паз машины. Асинхронные двигатели со стеклянной изоляцией выпускаются мощностью от 1,5 до 20 л. с. На рис. 13 ясно видно, сколь резко уменьшаются габариты двигателя при переходе на стеклянную изоляцию.

Некоторые фирмы проводят большую исследовательскую работу по выбору оптимальных пусковых, максимальных и номинальных вращающих моментов асинхронных двигателей и определению опти-

мального превышения температуры при полной нагрузке для различных режимов работы двигателей.

На основании проведенных исследований фирма GEC рекомендует, в зависимости от различных условий работы двигателя (длительная, повторно-кратковременная, кратковременная нагрузка), применять соответствующий класс и тип изоляции.

Энергетические характеристики. В отношении энергетических характеристик существуют два направления: европейское (в основном — немецкое) и американское. Асинхронные двигатели производства немецких заводов отличаются, по сравнению с аме-

риканскими двигателями, сравнительно малым весом, но худшими энергетическими показателями — к. п. д. и коэффициентом мощности.

На рис. 14 и 15 приведены сравнительные характеристики асинхронных двигателей производства европейских и американских заводов.

Наивысший к. п. д. и коэффициент мощности имеет двигатель с нормальным пусковым током, нормальным моментом и минимальным скольжением. Асинхронные двигатели с иными пусковыми характеристиками обладают несколько худшими энергетическими показателями.

Однофазные электродвигатели с пусковыми электролитическими конденсаторами

Канд. сел.-хоз. наук И. А. БУДЗКО

Всесоюзный институт механизации и электрификации сельского хозяйства

Однофазные электродвигатели, как правило, сложнее по конструкции и дороже трехфазных и в большинстве случаев уступают им по своим рабочим характеристикам. Все же область применения однофазных двигателей весьма значительна. При малых мощностях они широко используются в бытовых установках с питанием от осветительной сети.

Однофазные двигатели смогут сыграть большую роль также в сельской электрификации. В настоящее время в целях экономии металла проводов и снижения стоимости сетей стоит вопрос о переходе на смешанную систему распределения электроэнергии в сельском хозяйстве. По этой системе магистрали сетей высокого напряжения (6 и 10 kV) выполняются трехфазными и к ним подключаются относительно мощные силовые потребители, а все ответвления к осветительным и мелкомоторным потребителям осуществляются однофазными [1]. Широкое применение новой системы распределения электроэнергии возможно лишь при наличии однофазных электродвигателей. В сельском хозяйстве США и Канады, где очень широко распространено однофазное питание мелких потребителей, почти исключительно применяются однофазные электродвигатели малой мощности (до 10 л. с.).

Максимальная мощность однофазного электродвигателя для сельскохозяйственной электрификации определяется максимальной мощностью однофазного сельскохозяйственного трансформатора, равной 10 kVA [2], и составляет примерно 6 kW для напряжений 220 и 440 V. Наибольшее распространение, вероятно, получают двигатели мощностью 1,5—3,4 kW.

Из существующих типов однофазных асинхронных электродвигателей практическое значение в настоящее время могут иметь двигатели с конденсаторным и репульсионным пуском [3]. Особый интерес представляет использование однофазных электродвигателей с пусковыми электролитическими конденсаторами. Этот двигатель не имеет коллектора и вообще скользящих контактов, изготовление его значительно проще и на первых этапах его внедрения можно даже использовать железо серийных трехфазных двигателей. Кроме того, стоимость таких двигателей при мощностях до 4,5 kW ниже, чем двигателей с репульсионным пуском [2].

Пусковые электролитические конденсаторы для однофазных двигателей уже давно разработаны советской промышленностью [4], массовое же производство их легко может быть налажено на существующих заводах, так как технология его ничем существенно не отличается от технологии изготовления электролитических конденсаторов постоянного тока.

Принципиальная схема индукционного двигателя с конденсаторным пуском изображена на рис. 1. Статор его имеет две обмотки — рабочую *A* и пусковую *B*. Вспомогательная обмотка обычно занимает одну треть пазов статора и сдвинута в пространстве на 90 электрических градусов. Последовательно с пусковой обмоткой включена емкость *C*, отключаемая, после того как двигатель развернется, выключателем *P*, который может быть выполнен автоматическим. Ротор двигателя *R* — короткозамкнутый обычного для трехфазных двигателей типа.

На рис. 1 цифрой 1 обозначена кривая моментов для одной рабочей обмотки, а цифрой 2 — для рабочей и пусковой. Сплошной линией показано изменение момента двигателя при нормальном пуске. В точке *a* происходит выключение пусковой обмотки при скорости, равной 70—80% от синхронной.

Расчет рабочей обмотки однофазного электродвигателя общеизвестен, метод же расчета пусковой обмотки из условий получения максимального пускового момента также излагался в печати [5]. Однако выполнение расчета по этому методу не всегда оказывается возможным по той причине, что в гателя общеизвестен, метод же расчета пусковой обмотки с целью получения максимального пускового момента напряжения на ней и на пусковой емкости получаются чрезмерно высокими. Электролитические пусковые конденсаторы изготавливаются на напряжения до 380 V, и потому использование их может оказаться затруднительным даже при последовательном включении. Поэтому расчет пусковой обмотки в этих случаях необходимо вести, исходя из величины напряжения на ней при наличии рабочей обмотки. Число витков пусковой обмотки

$$w_3 = \frac{U_s f_1}{U f_3} w_1, \quad (1)$$

где *U* — напряжение сети; *U_s* — напряжение на

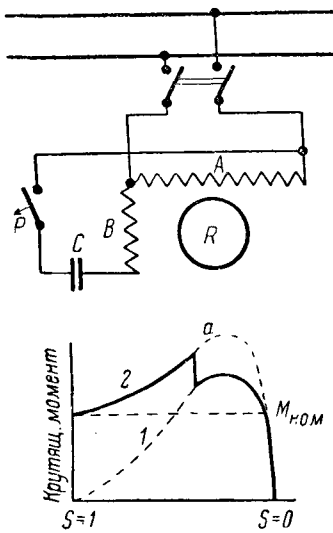


Рис. 1. Схема и кривая моментов однофазного электродвигателя с конденсаторным пуском

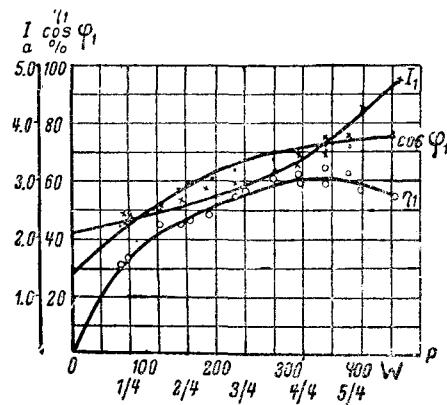


Рис. 2. Рабочие характеристики однофазного электродвигателя 0,32 кВт, 220 В

пусковой обмотке, f_1 и f_3 — обмоточные коэффициенты обмоток; w_1 — число витков рабочей обмотки.

Сечение провода пусковой обмотки

$$q_3 = \frac{S_3}{2w_3},$$

где S_3 — общее сечение проводов пусковой обмотки, которое легко определить, зная число пазов, оставшееся для пусковой обмотки после размещения рабочей, размер паза и коэффициент его заполнения.

Далее задаемся плотностью тока в пусковой обмотке Δ_3 (30—40 А/мм²) и находим по q_3 и Δ_3 ток в пусковой обмотке в момент пуска ($I_{3н}$).

Общее сопротивление последовательного соединения пусковой обмотки и емкости будет $z_{3н} = \frac{U}{I_{3н}}$.

Зная параметры пусковой обмотки, находим величину сопротивления пусковой емкости:

$$x_c = \sqrt{z_{3н}^2 - r_3^2} + x_{3н}. \quad (2)$$

Напряжение на емкости

$$U_c = I_{3н} x_c. \quad (3)$$

Величина пускового момента определяется по обычным формулам и графическому построению [5].

Отключение пусковой обмотки двигателя после окончания пуска следует производить автоматически. Это обуславливается как удобством эксплуатации, так в особенности следующим обстоятельством. Для получения высокого пускового момента емкостное сопротивление пускового конденсатора должно быть несколько выше (примерно на 10—15%) индуктивного сопротивления пусковой обмотки при неподвижном роторе. По мере повышения скорости вращения двигателя индуктивное сопротивление пусковой обмотки растет и, если ее не отключить, она может попасть в резонанс с емкостным сопротивлением конденсатора. Вследствие этого напряжение на конденсаторе значительно превысит напряжение в момент пуска. Поэтому при отсутствии автоматического выключателя конденсаторы нужно выбирать на более высокое напряжение, чем это требуется по условиям пуска. Кроме того, при использовании электролитических конденсаторов, рассчитанных на кратковременное нахождение под напряжением, весьма важно своевременно отключать их, что можно сделать лишь автоматически.

Автоматические выключатели пусковой обмотки можно выполнить в виде либо электромагнитного, либо центробежного реле, причем, как выявили испытания, центробежное реле более соответствует требованиям автоматизации пуска однофазных электродвигателей.

Испытания выполненных образцов однофазных двигателей с использованием железа серийных трехфазных подтвердили пригодность методов расчета пусковой обмотки, изложенных выше. Рабочие характеристики одного из этих двигателей (0,32 кВт, 220 В, 1500 об/мин) показаны на рис. 2. Зависимость пускового момента того же двигателя от величины емкости без изменения пусковой обмотки представлена кривой рис. 3. Опыты показали, что пусковой момент однофазного двигателя, как и трехфазного, пропорционален квадрату приложенного напряжения, но при напряжении ниже 50—60% номинального двигатель не разворачивается до скорости, близкой к синхронной, и, таким образом, запускаться не может.

В изготовленных электродвигателях использовались электролитические конденсаторы на напряжения 127, 220 и 380 В при емкости 100 мкФ в единице. Лабораторные и длительные производственные испытания показали, что характеристики конденсаторов вполне соответствуют литературным данным [4].

Двигатели работали в производственных условиях при относительно частых и затяжных пусках и выхода из строя конденсаторов при этом не наблюдалось. Двигатели успешно работают до настоящего времени (более года). Габариты пусковой емкости вполне приемлемы.

В связи с необходимостью скорейшего выпуска однофазных электродвигателей для сельского хозяйства потребовалось предусмотреть возможность изготовления их на неспециализированных заводах. В этих целях был произведен расчет¹ серии однофазных электродвигателей с конденсаторным пуском с использованием активного железа и корпусов трехфазных двигателей серии АД. Всего было рассчитано 26 отдельных двигателей мощностью от 0,50 до 5,80 кВт на 750, 1000 и 1500 об/мин.

По своим рабочим характеристикам они естественно уступают двигателям АД. Так, пусковой момент их равен номинальному при трехкратном пусковом токе. Перегрузочная способность составляет в среднем 1,4 или 65% от перегрузочной способности двигателя АД. Коэффициент полезного действия ниже в среднем на 4%, а коэффициент мощности на

¹ Под руководством инж. Ф. А. Горяинова.

8%. Вес однофазного двигателя вместе с конденсаторами на 33% выше веса двигателя АД той же мощности.

Однако однофазные двигатели с использованием активного железа и корпусов трехфазных могут рассматриваться лишь как временная мера, направленная на удовлетворение первоочередного спроса. В ближайшее время необходимо приступить к расчету и изготовлению однофазных электродвигателей с пусковыми электролитическими конденсаторами на электромашиностроительных заводах с тем, чтобы получить наиболее технически совершенную машину данного типа.

При современном уровне конденсаторостроения двигатели рассматриваемого типа являются наиболее удовлетворяющими практическим требованиям. Однако следует иметь в виду крупные преимущества, которые дает включение рабочей емкости, кроме пусковой. В настоящее время в Советском Союзе уже изготовлены лабораторные образцы электролитических конденсаторов переменного тока для длительного включения [6]. При успешном раз-

решении вопроса их массового производства двигатель с пусковыми и рабочими электролитическими конденсаторами будет, по видимому, наиболее совершенным с технико-экономической точки зрения типом однофазного электродвигателя.

Литература

1. А. Г. Захарин, И. А. Будзко. Смешанная система распределения электроэнергии в сельскохозяйственных районах. "Электричество" № 1, 1939.
2. И. А. Будзко, А. Г. Захарин, Л. Е. Эбин. Специальное оборудование для электрификации сельского хозяйства. "Вестник электропромышленности" № 8, 1939.
3. И. А. Будзко. Однофазные электродвигатели для с.х. электрификации. "Вестник сельскохозяйственной науки". Механизация и электрификация, вып. 2, 1940.
4. Л. Н. Закгейм, Г. Д. Николаева. Электролитические конденсаторы для пуска однофазных электродвигателей. "Вестник электропромышленности" № 10, 1936.
5. Б. И. Станиславский. К расчету пусковой обмотки для однофазного асинхронного двигателя с конденсаторным пуском. "Вестник электропромышленности" № 10, 1937.
6. Л. Г. Годес, Л. Н. Закгейм. Электролитические конденсаторы переменного тока. "Известия электропромышленности слабого тока" № 7, 1940.

Новые материалы для постоянных магнитов с термомагнитной обработкой

Канд. техн. наук А. С. КАНТЕР

Всесоюзный электротехнический институт

К новым магнитным материалам относятся кобальто-никелево-алюминиевые стали с большим содержанием (до 24%) кобальта. Эти стали обрабатываются термически и при охлаждении подвергаются воздействию магнитного поля большой напряженности.

Химический состав и магнитные характеристики кобальто-никелево-алюминиевых сталей, подвергнутых термической или термомагнитной обработке, приводятся в табл. 1.

Как видно из таблицы, магнитная энергия, отдаваемая во внешнее пространство магнитом после термомагнитной обработки, увеличивается в отдельных случаях почти в 3 раза.

В табл. 2 приводятся для сравнения данные магнитных характеристик основных материалов для постоянных магнитов.

Новые магнитные материалы уступают по маг-

нитной энергии только кобальто-платиновому сплаву с содержанием 77% платины (табл. 2).

Открытие материалов с столь значительной магнитной энергией, как правильно замечает Kayser [1], вызовет революцию в области применения постоянных магнитов и имеет, вероятно, еще большее значение, чем открытие кобальтовых сталей в 1917 г. и алюминиево-никелевых в 1932 г.

Охлаждение сплавов указанного в табл. 1 состава осуществлялось в магнитном поле напряженностью около 3000 Ое. Улучшение характеристик материалов постоянных магнитов при охлаждении их в магнитном поле было отмечено в работах Oliver and Shedden [2], которые нашли, что при охлаждении алюминиево-никелевой стали с температуры в 1200° С в магнитном поле определенного направления получилось увеличение значения $(BH)_{\max}$ в этом же направлении примерно на 20%.

Таблица 1

Химический состав и магнитные характеристики новых магнитных материалов ¹

Состав сплава в %					При термической обработке			При термической обработке с воздействием магнитного поля			Средняя скорость охлаждения от 1200° — 600°С	Увеличение $(BH)_{\max}$
Ni	Al	Co	Cu	Ti	$(BH)_{\max}$	H_c	B_r	$(BH)_{\max}$	H_c	B_r	°C/sec	
16,0	8,5	23	—	—	1 220 000	348	9050	3 450 000	492	12 650	1,0	183
13,5	8	24	1,5	—	1 320 000	370	9450	3 770 000	505	13 100	2,6	188
13,5	8	24	3	—	1 680 000	535	8300	4 780 000	600	13 350	1,8	185
16	7,8	25	—	2,8	1 600 000	604	7600	3 057 000	640	10 000	4,0	91
14	7,1	24	3	2,4	1 720 000	595	7900	3 780 000	660	11 050	4,0	110
14	7,5	20	6,5	1,8	1 650 000	620	7350	3 250 000	676	9 825	4,3	97
16,5	8,1	20	1,1	2,3	1 824 000	640	8150	3 117 000	685	10 200	4,0	71

¹ По данным нового английского патента № 522731, опубликованного в журнале The Engineer [1].

Таблица 2
Магнитные характеристики основных материалов

Название материала	H_c Ое	B_r Г	$B_r \cdot H_c \cdot 10^{-5}$
Вольфрамовая сталь	65	10 000	6,5
Кобальтовая сталь (35%)	240	9 000	21,6
Алюминиево-никелевая сталь	550	6 000	33,0
Железо-никелево-алюминиево-кобальтовый сплав	600	7 000	42,0
Железо-никелево-кобальто-титановый сплав	900	6 000	54,0
Железо-платиновый сплав (78% платины)	1800	4 000	72,0
Кобальто-никелево-алюминиевая сталь (с термомагнитной обработкой)	600	13 350	80,0
Кобальто-платиновый сплав (77% платины)	4000	3 000	120,0

В направлении, перпендикулярном к действию магнитного поля, получилось уменьшение значения $(BH)_{max}$ на 10%. При исследованиях Oliver and Shedden было применено магнитное поле напряженностью в 4400 Ое. Магнитная обработка не влияла на коэрцитивную силу сплава и вызвала только увеличение остаточной индукции и $(BH)_{max}$. Следует отметить, что акад. К. И. Шенфером проводились еще в 1919 г. первые в Союзе исследования по магнитной обработке ферромагнитных материалов.

Характерной особенностью материалов с термомагнитной обработкой является большое значение остаточной индукции B_r , доходящей до 13 350 Г и превосходящей остаточную индукцию всех известных до настоящего времени материалов для постоянных магнитов.

Алюминиево-никелевые стали, обладая большой коэрцитивной силой и значительной магнитной энергией, имеют сравнительно небольшую остаточную индукцию, порядка 6000 Г. Если принять, что магнит работает в точке максимума отдаваемой энергии, то индукция на выходе из магнита B_m составляет всего $B_m = 6000 \times 0,65 = 3900$ Г [3].

Индукция в воздушном зазоре машины при принятых формах электрических машин равна индукции на выходе из магнита. Индукция в воздухе порядка 3900 Г допустима в электрических машинах малой мощности, но совершенно недостаточна для средних и больших машин.

Для лучшего использования большой магнитной энергии алюминиево-никелевых сталей выявилась поэтому необходимость проектирования электрических машин особой формы [4].

Материалы с термомагнитной обработкой дадут при том же коэффициенте максимального использования материала (0,65) индукцию на выходе из магнита и в воздушном зазоре: $B_l = 0,65 \times 13350 = 8700$ Г. Приведенное значение индукции достаточно для машин средней и даже большой мощности. Следует отметить, что отношение $\frac{(BH)_{max}}{B_r H_c}$ (максимальной энергии, отдаваемой магнитом во внешнее пространство к произведению остаточной индукции на коэрцитивную силу) в материалах с термомагнитной обработкой значительно отличается от величины 0,42, характеризующей это отношение для других магнитных материалов [5, 6]. Для материалов с термомагнитной обработкой величина этого отношения достигает 0,6.

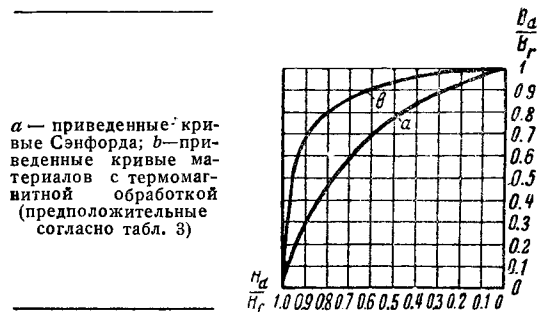
В табл. 3 приведены определенные из табл. 1 значения отношений $\frac{(BH)_{max}}{B_r H_c}$.

Таблица 3

Значения $\frac{(BH)_{max}}{B_r H_c}$ для материалов с термической и термомагнитной обработкой

$B_r H_c$ для сталей с термической обработкой	$B_r H_c$ для сталей с термомагнитной обработкой	$\frac{(BH)_{max}}{B_r H_c}$ для сталей с термической обработкой	$\frac{(BH)_{max}}{B_r H_c}$ для сталей с термомагнитной обработкой
$31,5 \cdot 10^5$	$63,5 \cdot 10^5$	0,388	0,55
$35 \cdot 10^5$	$66,5 \cdot 10^5$	0,378	0,57
$44,5 \cdot 10^5$	$80,0 \cdot 10^5$	0,38	0,595
$45,9 \cdot 10^5$	$64,0 \cdot 10^5$	0,35	0,48
$47 \cdot 10^5$	$73,0 \cdot 10^5$	0,366	0,518
$45,5 \cdot 10^5$	$56,5 \cdot 10^5$	0,362	0,49
$52,2 \cdot 10^5$	$70,0 \cdot 10^5$	0,35	0,445

Если приведенные в табл. 1 значения $(BH)_{max}$ соответствуют действительности (а по утверждению Kayser данные эти подтверждаются многими исследователями), то следует полагать, что кривая размагничивания материалов с термомагнитной обработкой будет резко отличаться от приближающихся к приведенной гиперболы кривых размагничивания других материалов для постоянных магнитов [5, 6]. Кривая размагничивания новых магнит-



a — приведенные кривые Сэнфорда; b — приведенные кривые материалов с термомагнитной обработкой (предположительные согласно табл. 3)

ных материалов должна, очевидно, иметь вид, представленный на рисунке.

При такой форме кривой размагничивания коэффициент, определяющий величину индукции на выходе из магнита, при работе в точке максимальной отдаваемой энергии имеет значение большее, чем 0,65, что вызовет дальнейшее увеличение индукции на выходе и в воздушном зазоре.

Очевидно, далее, что применение методов расчета, основанных на приведенной кривой размагничивания, может вызвать значительные погрешности при расчете магнитов и машин с постоянными магнитами из материалов с термомагнитной обработкой.

Расчет машин с постоянными магнитами следует вести по магнитной характеристике магнитов, выполненной на основании действительной кривой размагничивания.

Автором было проведено подробное сравнение магнитодвижущей силы, магнитного потока и магнитной энергии, развиваемой постоянным магнитом и катушкой электромагнита определенных размеров [7]. Для сравнения была взята катушка электромагнита машины постоянного тока в 11 kW, причем отношение магнитной энергии, развиваемой постоянным магнитом, к энергии электромагнита C , определялось отношением $C = 0,282 B_r H_c 10^{-6}$. Подставляя значение B_r и H_c для материалов с термомагнитной обработкой, равные соответ-

$$C = 0,282 \times 13350 \times 600 \times 10^{-6} = 2,24.$$

Таким образом в новом материале для постоянных магнитов с термомагнитной обработкой мы имеем материал для постоянных магнитов, не только превосходящий по магнитной энергии все известные магнитные материалы, но и создающий во внешнем пространстве энергию, более чем в 2 раза превосходящую энергию электромагнита электрической машины средней мощности.

В СССР широко развернулись работы по применению постоянных магнитов в электрических машинах малой и средней мощности. Использование материалов с термомагнитной обработкой дает возможность создать новые типы машин, отличающихся значительно меньшими габаритами и весом по сравнению с машинами электромагнитного возбуждения.

1. K a y s e r F. Permanent magnets. Engineer, стр. 183, № 4419, 1940.
2. Oliver A., Shedden I. Cooling of permanent magnet alloys in a constant magnetic field, Nature, стр. 209, № 3587, 1938.
3. Кантер А. С. К расчету постоянных магнитов. „Электричество“, стр. 34, № 17, 1935.
4. Кантер А. С. О некоторых формах электрических машин с возбуждением постоянными магнитами. Сборник „Униполярные машины и применение постоянных магнитов в электромашиностроении“. Академия Наук СССР. Москва, 1940.
5. Sanford R. L. Some principles governing the choice and utilization of permanent magnet steels. Scientific Papers of the Bureau of Standards, стр. 557, № 567, 1927.
6. Кантер А. С. Приведенная кривая размагничивания для новых магнитных материалов. „Электричество“, стр. 18, № 3, 1935.
7. Кантер А. С. Возбуждение электрических машин постоянными магнитами. „Бюллетень ВЭИ“, стр. 9, № 6, 1935.

Электрические методы измерения давлений

Инж. А. Я. ВАЙНБЕРГ

Москва

Преимущества большинства электрических методов измерения давлений заключаются в том, что они дают возможность осуществить высокочувствительные и малойнерционные измерители давлений. Благодаря большой скорости воспроизведения процесса и высокой собственной частоте, электрические измерители помощью осциллографической записи позволяют производить измерения мгновенных значений быстроменяющихся давлений. Далее они позволяют осуществить усиление процесса эквивалентного исследуемому и следовательно, пригодны при измерениях весьма малых давлений. Являясь дистанционными, электрические измерители в то же время позволяют решить задачу уменьшения и коррекции искажений. Многие наиболее актуальные задачи современной техники оказываются возможным решить лишь путем применения электрических измерителей давления. В ряде случаев техники оказывается необходимым определить мгновенные значения переменных давлений одной компоненты сложного процесса, образованного в результате сложения чешкольных колебательных процессов. Единственным способом решения и такого рода задач является применение электрических измерителей давления в совокупности с электрическими фильтрами.

Перечисленные и ряд других особенностей электрических измерителей давлений обуславливают все более широкое применение последних. Однако каждый из известных методов обладает и специфическими недостатками, которые в зависимости от обстановки и условий измерений могут оказаться весьма серьезными. Это вынуждает относиться с большой осторожностью к выбору наиболее приемлемого метода из обширного количества предложенных методов.

Электрические методы измерения давлений основаны на эффектах изменения параметров (сопротивления, емкости, индуктивности и др.) электрических цепей, подверженных действию механических сил давления. Помощью вспомогательных устройств (мостов, компенсаторов, реле и т. п.) изменение параметров сводят к изменению силы тока в цепи. Таким образом процесс измерения давления сводится к измерению силы тока. Определение искомой величины давления выполняется как путем применения тарировочных кривых, так и путем непосредственной градуировки шкалы показывающего или пишущего измерителя тока в единицах давления.

В настоящее время разработано 14 электрических методов измерения давлений.

Метод с растяжением сопротивления основан на эффекте изменения электрического сопротивления проволоки при ее растяжении. Этот эффект нашел свое применение в измерителе Нернста [1]. Растягиваемая силами измеряемого давления проволока включается в плечо моста Уитстона. По силе тока в нулевой цепи судят о величине измеряемого давления. Основными недостатками метода являются: непостоянство тарировочной кривой, возможность измерений только в узких пределах упругих деформаций применяемой проволоки, ма-

лая чувствительность и др. Все это делает этот метод мало применимым на практике.

Метод сопротивления со скользящим контактом заключается в передвижении скользящего контакта по проволочному сопротивлению. Передвижение контакта осуществляется силами измеряемого давления, действующими в сторону, противоположную силам упругой пружины. При передвижении контакта величина сопротивления увеличивается пропорционально давлению. Индикатором является измеритель тока, включенный в цепь изменяемого сопротивления. Такой метод нашел применение в далекодействующих пружинных манометрах и манометрах [2]. Недостатками метода являются: низкая собственная частота и непостоянство тарировочной кривой из-за неустойчивости контактного сопротивления. Эти недостатки ограничивают применение метода.

Метод с угловым сопротивлением основан на эффекте изменения электрического сопротивления контакта между двумя телами, находящимися под сжимающим действием сил измеряемого давления. В качестве материала контактов в простейшем случае применяют металл, как, например, в измерителе Арнольда Рот [3]. Более эффективными являются угольные контакты [4] в виде батареи дисков или шайб из специальных углей. Батарея угольных контактов включается обычно в плечо моста Уитстона, нулевая цепь которого содержит измеритель тока (гальванометр, шлейф осциллографа и т. п.). В простейшем виде угольный измеритель обладает большим непостоянством тарировочной кривой, нелинейной характеристикой и рядом других недостатков.

В последнее время угольный измеритель значительно усовершенствован. Применение дифференциального датчика позволяет иметь выпрямленную характеристику. Специальные угли и сильное зажатие шайб понижают гистерезис и увеличивают постоянство тарировочной кривой. Однако при этом значительно понижается чувствительность. В силу этого, а также значительного влияния влажности и др., несмотря на высокую собственную частоту (10^4 Hz и выше), угольный измеритель имеет ограниченное применение.

Метод с манганиновым сопротивлением основан на эффекте изменения электрического сопротивления проводника, находящегося под действием сил давления. Этот эффект проявляется наиболее устойчиво у манганиновой проволоки. Метод нашел применение в измерителе типа Бриджмена [5]. Манганиновая проволока включается в плечо моста Уитстона. Манганиновый измеритель подробно исследовался в Украинском физико-техническом институте [6]. Он обладает линейной характеристикой, постоянством тарировочной кривой при $t < 50^\circ \text{C}$, высокой собственной частотой и др. Недостатками является значительное непостоянство тарировочной кривой при $t > 70^\circ \text{C}$, заметное влияние влажности, а также малая чувствительность.

Метод электролитического сопротивления основан на эффекте изменения электрического сопротивления электролита, находящегося под действием сил давления. Практически это выражается в изменении высоты столба жидкости, вследствие

него происходит изменение его электрического сопротивления. Примером применения метода является измеритель Шмальца [7]. В качестве электролитов применяют раствор азотнокислотного свинца, амиллацетат, уксусно-этиловый спирт и др. Электролит в сосуде с электродами включается в плечо моста Уитстона. Большое непостоянство тарировочной кривой весьма затрудняет применение такого рода измерителей. Дело в том, что из-за происходящего (в той или иной мере) процесса химического разложения электролита током, а также реакции электролита и электродов изменяется удельное сопротивление. В последние годы для уменьшения этого недостатка предложены электрические схемы с компенсацией тока измерителя [8].

Емкостный метод основан на эффекте изменения электрической емкости конденсатора, подвижная обкладка которого находится под действием перемещающих его сил давления [9]. Этот метод нашел применение в измерителе Гердиена [10]. Упомянутый конденсатор, будучи включен в сеточную цепь лампового генератора, действует как модулятор. В результате — анодный ток лампового генератора будет модулирован током, процесс изменения которого при известных условиях эквивалентен процессу измеряемого давления. После демодуляции и фильтрации получают ток, значение которого пропорционально измеряемому давлению. Путем записи тока соответствующим осциллографом представляется возможным определить мгновенные значения весьма быстропеременных давлений. В отдельных случаях применяются дифференциальные, резонансные мостовые и др. электрические схемы, основанные на измерении емкости [11] или реактанса.

Емкостный измеритель характеризуется высокой собственной частотой (миллионы герц), прямолинейной характеристикой, возможностью компенсаций частотных и амплитудных искажений и др. К числу недостатков относятся: сложность аппаратуры, наличие элементов, требующих стабилизации частоты и напряжения питающего тока и др. За границей емкостные измерители составляют уже предмет фабричного производства [12].

Диэлектрический метод основан на эффекте изменения диэлектрической постоянной жидкости, находящейся под действием сил давления [13]. Этот метод применялся в измерителе Тренделенбурга [14]. Диэлектрический метод обладает недостатками, свойственными электролитическому и емкостному методам.

Магнитоэлектрический метод основан на эффекте возбуждения электрического тока в проволоочной катушке при изменении силы магнитного поля катушки. Последнее же происходит, например, при изменении воздушного зазора в магнитной цепи постоянного магнита (путем смещения якоря или прогиба мембраны, находящихся под действием исследуемого давления).

Примером применения магнитоэлектрического метода является измеритель Трубриджа, где индукционная катушка укреплена на мембране. Перемещение катушки происходит между полюсами магнита, в результате чего в катушке возбуждается переменный ток, амплитуда которого пропорциональна перемещению мембраны.

Недостатками метода являются: малая чувствительность (без усилителя), зависимость от частоты исследуемого давления, непрямолинейность характеристики в области низких частот и др.

Метод с реактивной катушкой основан на эффекте изменения реактивного сопротивления или индуктивности катушки с железным сердечником. Изменение упомянутых параметров достигается путем изменения магнитного поля, что происходит при смещении якоря или прогиба мембраны, находящихся под действием сил давления. Этот метод нашел применение в измерителе Кейната [15]. Сама катушка включается в плечо соответствующего моста [16]. В простейшем виде измеритель обладает нелинейной характеристикой. Применением же дифференциальной схемы включения катушек, или специальных компенсаторов [17] характеристика измерителя может быть значительно выпрямлена. Собственная частота таких систем достигает 8—10 тыс. Гц. Практический материал по проектированию таких измерителей приведен в работе Зактрегера [18]. Реактивная катушка может быть использована также в измерителе, аналогичном емкостному. Прогиб мембраны вызывает изменение индуктивности катушки, включенной в сеточный контур лампового генератора. Принцип действия измерителя и недостатки те же, что и в емкостном измерителе.

Магнитостриктивный метод основан на эффекте изменения индуктивности реактивной катушки с неподвижным ферромагнитным сердечником. Изменение индуктивности происходит в результате изменения магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника, находящегося под действием сил измеряемого давления. Этот метод нашел применение в измерителе ЦАГИ [19]. Из ряда схем, которые могут здесь применяться,

наиболее целесообразной для измерения как постоянных, так и переменных давлений является схема моста Максвелла с двумя или четырьмя сравнимыми самоиндукциями. Собственная частота измерителя может достигать $2 \cdot 10^6$ Гц. Характеристика измерителя достаточно прямолинейная, а температурные влияния незначительны. Влияние колебаний питающего тока здесь меньше, чем в других схемах. Недостатком метода является зависимость самоиндукции от частоты тока. Однако этот недостаток может быть значительно уменьшен путем работы на частотах ниже критического [26] или соответствующей стабилизацией частоты используемого генератора [20]. Опыт показывает, что при выполнении ряда условий погрешность измерений магнитостриктивным методом может быть сведена до 2%.

Пьезоэлектрический метод основан на эффекте непосредственного изменения напряжения на обкладках пьезоэлектрического кристалла (например кварца, турмалина и др.), находящегося под действием переменных сил давления [21]. Возникающий на обкладках заряд далее измеряется ламповым вольтметром. Пьезоэлектрический измеритель получил широкое применение [22]. Объясняется это главным образом прямолинейностью характеристики, высокой собственной частотой (до верхней части радиодиапазона) и др. Недостатками являются: малая чувствительность (без усилителя), неприменимость в случае медленно меняющихся давлений, так как время стекания заряда

$$T = CR I_n \frac{v_0}{v}$$

(где C — емкость, R — сопротивление, v_0 и v — начальное и конечное значения потенциалов), что при $R \sim 10^8 \Omega$ составляет сотни доли секунды, затем зависимость чувствительности от емкости входной цепи и т. д. Примером применения пьезокварцевого измерителя является монограф-индикатор типа Цейс-Икон, с оптической записью, помощью катодного осциллографа.

Струнный метод основан на эффекте изменения собственной частоты струны под влиянием изменений натяжений, происходящих под действием сил измеряемого давления. Примером применения метода является монограф Ленинградского института Гидротехники [23]. Струна является элементом самовозбуждения генератора, действующего как модулятор другого генератора, создающего несущую частоту. Фиксирующий прибор включается в цепь анодного тока демодулятора. Недостатками метода являются: сложность, нелинейность характеристики при повышенных частотах, обилие элементов, могущих явиться причиной искажения и неустойчивости.

Фотоэлектрический метод основан на эффекте изменения освещенности фотоэлемента при смещении или прогибе мембраны, находящейся в световом поле фотоэлемента и одновременно под действием сил измеряемого давления. Индикатором является измеритель тока, включенный в анодную цепь лампового вольтметра, содержащего фотоэлемент в сеточной цепи. Примером применения метода является измеритель Рейнера [24] и Института телемеханики [25]. Основными недостатками метода являются: малая чувствительность, сложность, непостоянство характеристик и др.

Метод ртутно-платинового сопротивления основан на эффекте изменения сопротивления ртутного столба в мессдозе, шунтирующего платиновую проволоку. Измеряемое давление меняет высоту столба ртути в мессдозе с вертикальной платиновой нитью и тем самым меняет шунтирующее сопротивление ртутного столба. Для избежания образования окислов ртути мессдоза наполняется водородом. Концы платиновой нити включаются в плечо моста Уитстона, нулевая цепь которого дает пропорциональное изменение силы тока [25]. Недостатками метода являются: низкая собственная частота, непостоянство тарировочной кривой, малая чувствительность, значительное влияние колебаний температуры и др.

Литература

1. Michels. *Ann. d. Physik.*, т. 85, стр. 770, вып. 4, 1928.
2. Грун. *Электротехнические приборы*, стр. 123, 1927.
3. A. Roth. *VBC-Mitt.*, т. 12, стр. 89, 1925.
4. Martin and Carris. *El. Journ.*, т. 27, стр. 87, № 2 и стр. 168, № 3, 1930.
5. Бриджмен. *Физика высокого давления*, стр. 73, ОНТИ, 1931.
6. Александров и Верещагин. *Журнал технической физики*, стр. 843, № 9, 1939.
7. Schmalz. *Maschinenbau*, т. 2, стр. 104, 1922.
8. Кейнат и Бурлов. *Энциклопедия технических измерений*, лист 113, № 4, 1935.
9. Кейнат. *Энциклопедия технических измерений*, лист 113, № 4, 1935.
10. Gerdien. *Veroff. Siemens Konz.*, т. 8, стр. 126, вып. 2, 1929.

11. Вайнберг. Техническая энциклопедия, II изд., стр. 1072, т. 8, 1938.
12. Müller. ATM, т. 99 и 100, № 98, 1939.
13. Sacerdote, L'Elettrotechnica, стр. 487, № 19, 1932.
14. Trendelenburg. Zeitschr. f. Techn. Physik, т. 11, стр. 465, 1930.
15. Merzhon. GER, т. 35, стр. 141, 1932.
16. Кейнат. Энциклопедия технических измерений, лист 109, 110, № 4, 1935.
17. Мильштейн, „Автоматика и телемеханика“, стр. 125, № 2, 1940.
18. Закрегер. „Автоматика и телемеханика“, стр. 10, № 2, 1938.
19. Майоров. Труды ЦАГИ, № 445, 1939.

20. Вайнберг. Техническая энциклопедия. I изд., т. 21, стр. 734, 1933.
21. Клуге. Энциклопедия технических измерений, лист 108, № 4, 1935.
22. Андреевский. „Журнал технической физики“, стр. 680, вып. 8, 1940.
23. Слободов. „Журнал технической физики“, стр. 309, № 4, 1940.
24. Raupet. Royal Aeronaut. Soc. Journ., январь 1939.
25. Аристов. „Автоматика и телемеханика“, стр. 55, № 4, 1936.
26. Goldschmidt. Zeitschr. f. Techn. Phys., стр. 534, № 11, 1932.

НОВАТОРЫ И ИЗОБРЕТАТЕЛИ

Новый тип сварочной машины переменного тока¹

Акад. В. П. НИКИТИН

Применение для контактной сварки однофазных трансформаторов во всех выпускаемых до сих пор сварочных машинах и тем более в намечающихся



Акад. В. П. Никитин

сварочных машин надо отнести также низкий $\cos \varphi$, в особенности в машинах с большим вылетом вторичного витка типа «клещей» вследствие значительного рассеивания. В шовных же и трубосварочных машинах с вращающимся трансформатором вследствие наличия трущихся контактов во вторичной цепи происходят также и большие потери мощности.

Свободной от перечисленных недостатков является машина, изображенная на рис. 1. Как видно из рисунка, машина состоит из двух частей: неподвижной и вращающейся. Неподвижная часть выполнена в виде многофазного статора, в пазах которого располагается первичная обмотка, включаемая в сеть; вращающаяся часть выполнена в виде охватывающего статор ротора, в пазах которого расположена вторичная обмотка. Концы обмотки ротора выведены к кольцам, размещенным на наружной поверхности ротора. Кольца выполнены из двух частей: части 2 (рис. 1), соединенной с концами обмотки ротора, и соединяемой с частью 3, работающей в качестве электродов (причем на чертеже этой части приданы формы, необходимые для сварки продольных швов труб). Электроды 3 выполнены съемными, что позволяет иметь комплект электродов различной конфигурации и, следовательно, производить на одной машине сварку различных изделий; кроме того, по мере износа возможна замена электродов 3 запасными.

Для обеспечения работы электродов без перегрева сверх допустимого последние могут иметь водяное охлаждение, для чего предусмотрены каналы 4 для охлаждающей жидкости.

Действие описываемой машины осуществляется следующим образом. При питании от сети или отдельного генератора многофазные обмотки, расположенные на статоре, создадут вращающееся магнитное поле, которое будет индуцировать в проводниках обмотки ротора соответствующую электродвижущую силу. Под действием этой э. д. с. при замыкании описанных выше колец деталью, подлежащей сварке, через шов пройдет ток, путь которого показан на рис. 2 стрелками.

При экспериментальной проверке описываемой схемы была осуществлена действующая модель машины из старого асинхронного двигателя фирмы

к выпуску машинах больших мощностей связано с рядом эксплуатационных недостатков. В частности, включение контактной машины в одну из фаз энергетической сети завода или цеха ведет к чрезвычайной неравномерности нагрузки сети. Процесс же контактной сварки, в особенности шовной и точечной, связанной с очень частыми перерывами тока (до 100 и более включений и выключений в минуту), дает громадные пики тока, достигающие до 3 и 5-кратных величин номинального тока первичной цепи трансформатора.

К недостаткам выпускаемых в настоящее время

¹ Авторское свидетельство № 45370.

Schuckert & Co типа Md-6, № 22342, мощностью 5,2 л. с. при $n = 1080$ об/мин, $U = 350$ V и изготовлена в электротехнической лаборатории Московского ордена Трудового Красного знамени механико-машиностроительного института им. Баумана, еще не вполне оборудованной для выполнения таких экспериментальных работ. Поэтому действующая модель машины весьма примитивна и не

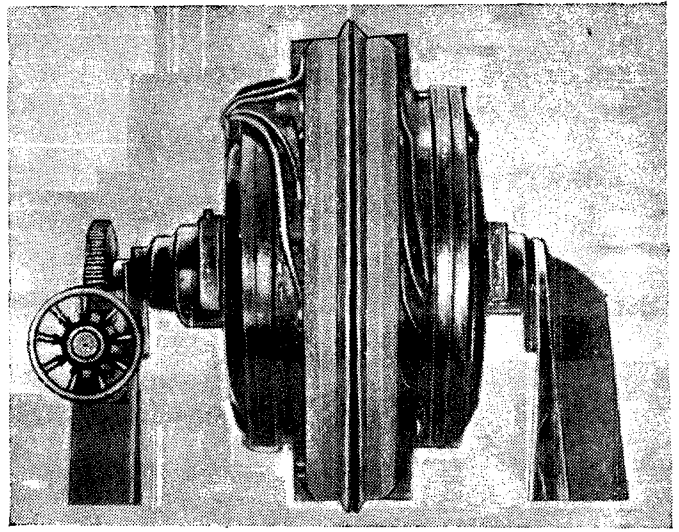


Рис. 3

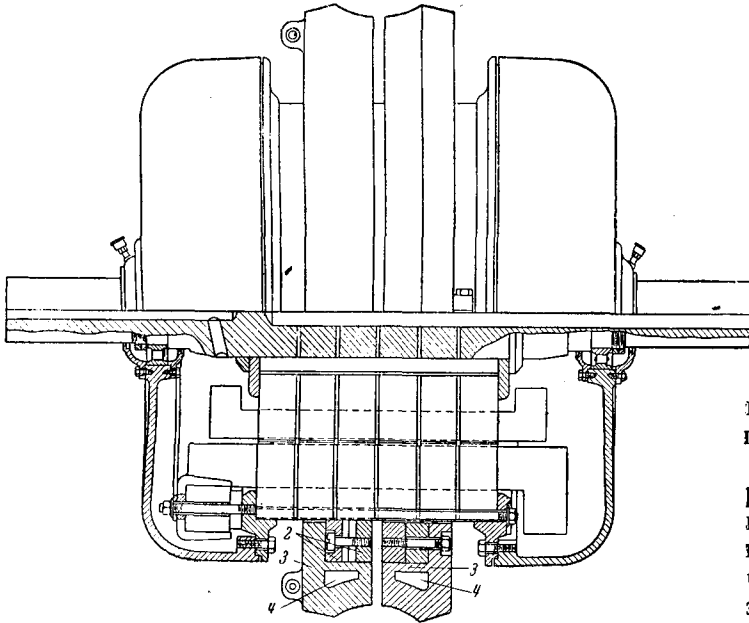


Рис. 1

Для вторичной цепи взята в основу первого варианта однофазная обмотка, к которой были предъявлены следующие требования:

1) все э. д. с., индуктируемые в каждом пазе ротора, складываясь, должны давать требуемое напряжение холостого хода вторичной цепи машины, т. е. порядка 4—6 V, с тем, чтобы не получалось бы обмотки, где э. д. с., складываясь, образуют замкнутый многоугольник, что в сумме даст $U_r = 0$;

2) обмотка должна выдержать максимальную величину вторичного тока (короткое замыкание), т. е. необходимо наибольшее возможное сечение вторичной обмотки при имевшемся в наличии сечении паза магнитопровода.

Из рассмотренных и испытанных восьми вариантов вторичной обмотки окончательно для данной модели машины взята волновая обмотка, выполненная с двумя параллельными ветвями.

При исследовании снимались характеристики для холостого хода и к. з. при соединении первичной обмотки как в звезду, так и в треугольник. При к. з. характеристики снимались при неподвижном и при вращающемся роторе. Произведенные испытания подтвердили правильность идеи новой трехфазной вращающейся контактной машины и позволяют сделать следующие общие выводы:

отвечает полностью всем требованиям, которые могли бы быть к ней предъявлены.

Однако поставленные в данной работе задачи — одновременного получения вращения и достаточного для сварки тока, сварки элементарных образцов из листового железа, а также получения равномерной нагрузки на трехфазную сеть — в основном на изготовленной действующей модели, разрешить удалось.

Наружный вид машины представлен на рис. 3. Вся электросварочная часть концами вала статора укреплена в станине. На корпус ротора надеты и укреплены к нему контактные сварочные кольца, изолированные одно от другого воздушным промежутком, а от корпуса — прокладками и втулками. К контактным кольцам подведены концы вторичной обмотки.

Принципиальная схема электрической части машины изображена на рис. 4. Первичная обмотка для данной машины, магнитопроводом которой является ротор асинхронного двигателя, уложена в пазы последнего и выполнена как трехфазная катушечная, могущая быть соединенной как в звезду, так и в треугольник.

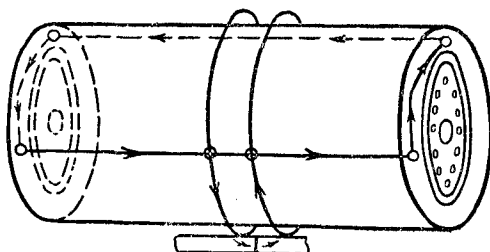


Рис. 2

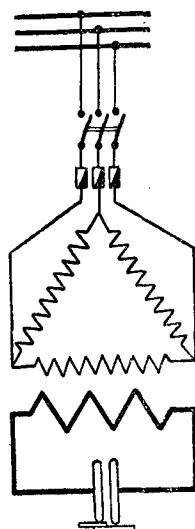


Рис. 4

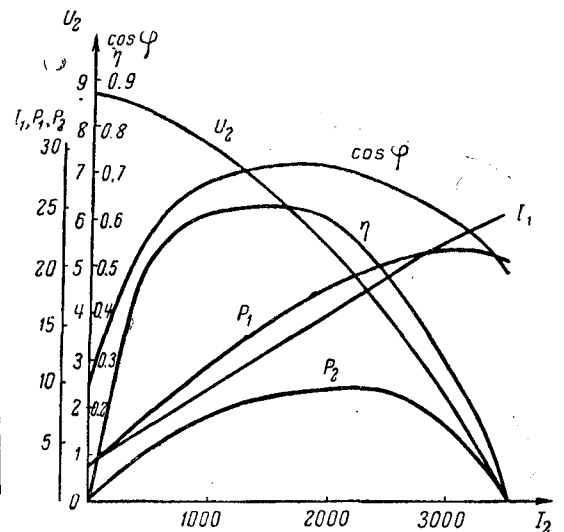


Рис. 5

1. При работе с неподвижным ротором имеем почти полную равномерность нагрузки на трехфазную сеть. Лучшие результаты дает соединение обмотки статора в треугольник.

2. При сварке с вращающимся ротором получается полная равномерность нагрузки на все три фазы сети.

3. Первичная обмотка — трехфазная катушечная — дает хорошие результаты и удобна в выполнении.

4. Вторичная обмотка — роторная однофазная, разрезная, удовлетворительна для данного типа машины, но возможны и другие варианты.

5. Достигается равномерное распределение магнитного потока вследствие почти полного охвата вторичной обмотки первичной, а следовательно, и значительное уменьшение рассеивания по сравнению с обычными однофазными трансформаторами.

6. Благодаря равномерности нагрузки на трехфазную сеть и отсутствию скользящих контактов во вторичной цепи осуществляется возможность проектирования мощной контактной машины с высокими показателями — к. п. д. и $\cos \varphi$.

Рабочие кривые, полученные из круговой диаграммы, построенной по данным испытания маши-

ны, представлены на рис. 5. Результаты испытаний показали, что как в отношении внешней характеристики, так и в отношении коэффициента использования кажущейся мощности $C = \cos \varphi$ полученные кривые вполне удовлетворяют тем требованиям, которые предъявляются к подобным сварочным машинам.

В отношении же назначения и возможности применения в различных отраслях промышленности исследования далеко еще не совершенной первой модели нового типа сварочной машины позволяют предсказать:

1) применение трехфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем дает возможность осуществления машин для всех видов контактной сварки как стационарных, так и требующих вращения или передвижения;

2) вращающаяся машина может одновременно служить для шовной, точечной и стыковой сварки, для чего потребуются только сменные рабочие части сварочных колец;

3) новая схема может найти применение в таких типах, как «клещи», «двуколка» и палубная сварка длинных швов, т. е. в машинах, требующих собственного передвижения.

За рациональное конструирование внутрицеховых электросетей

Инж. Ф. Я. ГОЛЬДБЕРГ

«Центроэлектромонтаж»

С переходом от трансмиссионной передачи к индивидуальному электроприводу значительно усложнились вопросы внутрицехового распределения электроэнергии.

Особенные трудности возникают в крупных цехах предприятий машиностроительной, деревообделочной и текстильной промышленности и на других производствах с большим количеством скученно установленных станков с индивидуальным электроприводом. Для силовых электросетей в таких цехах требуется затрачивать громадное количество кабелей и проводов, особенно в распределительных сетях вторичной коммутации, для подачи тока от цеховых распределительных пунктов к токоприемникам. Кроме того, для защиты проводов при прокладке их в полу расходуется большое количество дефицитных газовых труб. Поэтому особое значение приобретают вопросы рационализации существующих систем токораспределения, ведущие к замене и сокращению кабельной продукции в заводских электросетях.

Одновременно с назревшим вопросом о замене кабелей и проводов другими менее дефицитными средствами токораспределения не менее актуальными являются вопросы, связанные с эксплуатацией цеховых электросетей. Одним из наиболее важных вопросов является мобильность оборудования в цехах с меняющимся технологическим процессом и с часто перемещаемым оборудованием. Электросети должны позволять в таких цехах присоединение станков в любом месте при их перемещении.

Всякое изменение модели машин или их деталей влечет за собой изменение технологического про-

цесса, а следовательно, может потребовать перестановки станков.



Инж. Ф. Я. Гольдберг

Особенно мешают перестановкам оборудования сети, проложенные в полу. При перемещениях стан-

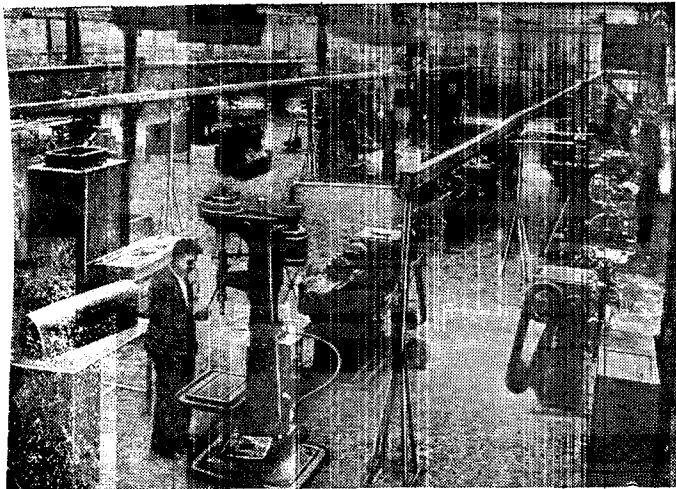


Рис. 1. Общий вид цеха с распределительными шинными сборками в процессе монтажа

ков кабели, провода и стальные трубы на ранее проложенных линиях, как правило, не используются, так как извлечение их из пола связано с большой и длительной работой по вскрытию пола и демонтажу в условиях действующего цеха.

Наличие верхних распределительных сетей и монтаж новых верхних линий на значительной высоте в действующем цехе не вносят особых облегчений при всяких перемещениях по сравнению с проводкой, проложенной в полу, а расход проводов в таких верхних распределительных сетях еще больше.

Новая система внутрицехового токораспределения шинными сборками, как показала практика ее применения, полностью разрешает проблему мобильности оборудования в цехах и дает притом значительную экономию кабелей и проводов.

Подробное описание этой системы приводилось уже в журн. «Электричество» № 5 и № 10—11, 1939 г. В настоящей статье напомним читателю, что распределительные сборки со стальными шинами в новой системе токораспределения, расположенные непосредственно у станков на высоте 2 м от пола, заменяют лишь распределительные сети вторичной коммутации в цехах и ликвидируют в основном громоздкие и дорогие распределительные пункты.

В замене цеховой сети в той части, которая непосредственно подает ток к потребителям энергии и жестко связана с ними, кроется разрешение проблемы мобильности оборудования. На рис. 1 дан фотоснимок системы шинных сборок в процессе их монтажа. Сборки монтируются еще до установки станков. На снимке видно, что только часть станков установлена и еще не все станки подключены к сборкам.

Система распределительных сборок предназначена в основном для цехов, насыщенных оборудованием, с прямолинейным расположением станков, как, например, на машиностроительных заводах в цехах холодной обработки металлов, в деревообделочных цехах, на текстильных и на прочих производствах с аналогичным расположением оборудования. Таким образом шинными сборками в распределительных сетях могут быть охвачены наиболее крупные производства и почти вся машиностроительная промышленность, предъявляющие наибольший спрос на кабельную продукцию.

В тех случаях, когда шины в первичных пита-

тельных сетях могут дать экономию цветных металлов и могут заменить дефицитную кабельную продукцию, следует ориентироваться на расширение шинной проводки не только в распределительных сетях, но и в первичной питательной сети.

Применение шин только в питательной сети не дает удовлетворительного решения вопроса, так как распределительная верхняя сеть, ответвляемая от шин, получается более длинной. Однако сочетание шинной проводки в первичной питательной сети с шинными сборками в распределительной сети, сохраняя все преимущества шинных сборок, должно привести в большинстве случаев к дополнительной экономии цветных металлов, а иногда и к почти полной замене кабелей и проводов во внутрицеховых сетях.

Особенное внимание должно быть уделено замене кабелей шинами в питательной сети, во всех случаях, когда целесообразно применение стальных шин. Это может иметь место в цехах с относительно небольшими нагрузками и на коротких линиях, при небольшой плотности нагрузок в стальных шинах, когда потери в них не приводят к перерасходу энергии.

Необходимость защиты шин в питательной сети от прикосновения или от внешней среды приводит к устройству в цехах громоздких и дорогих конструкций на большой высоте и к значительному перерасходу черных металлов. Это ограничивает область применения стальных шин в первичной питательной сети.

При наличии легкой и дешевой конструкции шинопроводов и при замене черных металлов для покрытия шинопроводов другим менее дефицитным и более легким материалом возможно будет шире применить шинопровода в цеховых сетях и заменить ими дефицитные кабели не только в распределительных, но и в первичных питательных сетях.

Автором проводится дальнейшая работа по усовершенствованию конструкции шинных сборок. Стальная усовершенствованная конструкция шинных сборок выполнена с шинами, плотно закрытыми в коробе, заваренном по всей длине, с выведенными наружу клеммами для присоединения токоприемников. Клеммовые коробки у ответвлений и соединительные коробки в местах соединения стандартных шинных секций длиной 6 м возможно выполнить пыленепроницаемыми в отличие от прежней конструкции. Кроме того, вынесение из короба контактов позволило сократить размеры и вес шинопровода (размер короба с шинами 65×100 мм вместо 85×145 мм). Последняя усовершенствованная стальная конструкция уже применена на ряде предприятий.

Имеются две модели стальной конструкции: одна для централизованного исполнения в заводских условиях (исполняет завод «Электроконструкция») и другая — для исполнения в условиях монтажа.

В целях дальнейшей экономии не только цветных, но черных металлов автором сконструирована ацеидовая шинная сборка. В этой новой конструкции стальной корпус, заключающий в себе токопроводящие шины, заменен питательными в битуме асбоцементными изоляционными досками.

В ацеидовой конструкции сталь расходуется только в количестве, необходимом для проводникового металла и для защитного заземления (или зануления), а в остальном она заменена недефицитным и дешевым материалом — асбоцементом, превращающимся после пропитки в хороший изолятор.

Как показали испытания первой опытной конструкции, ацеидовая сборка обладает более высокими качествами, чем стальная, с точки зрения электрической и механической прочности. Меньшие ее размеры, легкий вес (удельный вес асбоцемента — 1,9), простота изготовления в условиях монтажа, дешевизна, плотное закрытие токоведущих частей, зажатых между ацеидовыми досками, и возможность применения шин любой ширины, при тех же стандартных конструкциях, обеспечивают широкое внедрение нового шинопровода на разных предприятиях, в пыльных и пожароопасных помещениях, в распределительных и также в первичных питательных сетях.

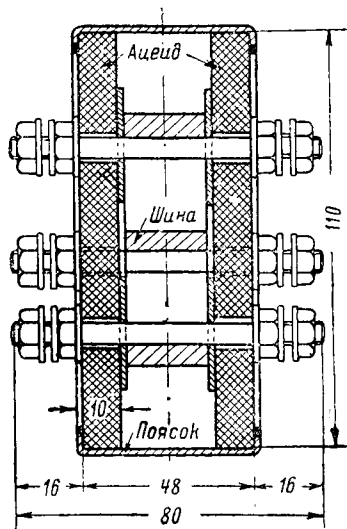


Рис. 2. Разрез по шинопроводу ацеидовой распределительной сборки

Как показали лабораторные испытания ацеидовой секции распределительной шинной сборки длиной 6 м со стальными шинами сечением 30×4 мм, нагрев шин и асбоцементных покрытий при длительном прохождении по ним переменного тока 100 А не превышает допустимой температуры. Нагрузки в шинных сборках при замене ими распределительных сетей в металлообрабатывающих цехах обычно составляют в среднем 30—40 А, при этом в начале линий они редко доходят до 70—80 А. При таких нагрузках нагрев ацеидовых распределительных сборок, как и стальных, незначителен, а потери энергии в стальных шинах не превышают потерь в проводах распределительных сетей. Незначительные потери в шинах распределительных сборок получаются вследствие малых нагрузок в распределительной сети (плотность тока порядка 0,2—0,3 А/мм²) и за счет значительного сокращения длины проводника, приходящейся на каждый токоприемник в системе сборок.

Легкость конструкции, простота в изготовлении и отсутствие дефицитных материалов дают основание считать, что ацеидовая сборка может быть использована для прокладки шин также в первичных питательных линиях от подстанции и тем самым позволит шире заменить кабели и провода в цеховых электросетях.

Шинопровода, состоящие из стандартных сборных конструкций, применяемых в распределительных сетях, мы условимся называть «*распределительными шинными сборками*», а в первичной питательной сети для передачи электроэнергии от подстанций в цеха — «*питательными шинными сборками*».

В конструкциях распределительных шинных сборок предусмотрено большое количество клеммовых коробок для устройства ответвлений к токоприемникам (до 10 шт. по длине каждой шестиметровой стандартной шинной секции).

В то время как для распределительных сборок, вообще говоря, возможно ограничиться одним сечением стальных шин, питательные шинные сборки должны допускать прокладку стальных, медных или алюминиевых шин любых сечений. В ацеидо-

вых сборках этот принцип легко осуществляется при одних и тех же стандартных ацеидовых конструкциях.

Крепление питательных сборок, в отличие от распределительных, осуществляется обычно к конструкциям здания: к колоннам, к потолку, к фермам и к балкам под фанарями. В соответствии с указанными конструктивными различиями, изготовление и монтаж распределительных и питательных шинных сборок осуществляется по разным чертежам.

На рис. 2 показан разрез по шинопроводу ацеидовой распределительной сборки¹.

Дальнейшим этапом в деле конструирования новых шинопроводов и замены ими кабелей должна быть, по предположению автора, запрессовка проводникового металла в изоляционную массу. При этом материал изоляционной массы не должен быть дефицитным, он должен удовлетворять условиям прокладки в любой среде, удовлетворять предъявляемым требованиям в отношении механической прочности, и коэффициент расширения его должен соответствовать коэффициенту запрессованного проводникового металла.

Указанным условиям соответствует асбоцемент, который после пропитки приобретает свойства изолятора. Произведены первые опыты по запрессовке проводникового металла в асбоцементную массу, подтвердившие возможность осуществления запрессовки шин в асбоцемент, при больших давлениях. В этом направлении должно быть продолжено дальнейшее экспериментирование.

Наличие соответствующих рациональных конструкций шинных сборок позволит перейти к широкому внедрению их и к замене кабелей и проводов в заводских электросетях. В то время как в распределительных шинных сборках вопрос о потерях энергии вообще не является особенно актуальным и здесь, за редкими исключениями (в цехах тяжелого машиностроения), удовлетворяют стальные шины стандартного минимального сечения, для питательных шинных сборок следует при выборе стальных шин выполнять расчеты на потери в шинах.

Расчет стальных шин при переменном токе очень сложен. Особую трудность представляет определение омического сопротивления стальных шин — R_w при переменном токе, зависящего не только от сечения проводника, но и от его магнитной проницаемости, от напряженности магнитного поля, при разных силах тока, и от периметра проводника.

Такая сложная зависимость делает расчеты затруднительными. В лаборатории МЭИ были проведены испытания для весьма ограниченных профилей и сортамента стали, на основе которых построены кривые R_w в зависимости от силы тока.

Кроме потерь, создаваемых омическим сопротивлением, при прохождении переменного тока в стальном проводе возникают сопротивления внутренней индуктивности.

В нашей, да и в зарубежной литературе мало освещены методы расчета железных шин. Сложность расчетов и отсутствие данных препятствуют быстрому и правильному внедрению стальных шинопроводов. В настоящей статье мы приводим метод расчета стальных шин.

¹ Конструкция ацеидовых сборок полностью разработана под руководством автора.

Потеря напряжения в линии определяется по формуле:

$$e = \sqrt{3} I (R_w \cos \varphi + X \sin \varphi),$$

где e — потеря напряжения в V , I — нагрузка в A , l — длина линии в m , R_w — активное сопротивление стальной шины при переменном токе, X — индуктивное сопротивление.

Величины R_w и X определяются по формулам Циклера². Как показали экспериментальные данные, эти формулы дают достаточно точные для практических расчетов результаты. В частности, произведенные в лаборатории испытания шинной сборки показали совпадение расчетных данных с результатами испытания.

Циклер дает для определения R_w следующие формулы:

$$\frac{R_w}{R_g} = 0,758 + \sqrt{1,343 k^2 - 0,183} \text{ для значения } k \leq 1$$

и
$$\frac{R_w}{R_g} = 0,758 + 1,159 k \text{ для значения } k \geq 3,$$

где $\frac{R_w}{R_g}$ — отношение сопротивления стального провода при переменном токе к сопротивлению его при постоянном токе.

Коэффициент k определяется по формуле:

$$k = \frac{2Q}{100p} = \sqrt{\frac{f\mu}{\rho}},$$

где Q — поперечное сечение стального провода (шины), p — периметр сечения шины, μ — магнитная проницаемость, f — число периодов в секунду, ρ — удельное сопротивление проводника при постоянном токе.

Значение магнитной проницаемости проводника определяется по кривым в зависимости от напряженности магнитного поля — $\mu = f(H)$.

На рис. 3 приведены кривые магнитной проницаемости, полученные опытным путем в лаборатории ВЭИ для тороидов, вырезанных из круглой стали с различным содержанием углерода.

Кривые эти не учитывают влияния наклепа прокатанной тонкой стали. Это влияние сказывается на уменьшении магнитной проницаемости особенно для стали толщиной до 3 мм. Для шинных сборок рекомендована сталь толщиной 4—5 мм по условиям монтажного характера и механической прочности при токах к. з. (расстояние между шинами — 3 см). Необходимо провести лабораторные работы для определения магнитной проницаемости полосовой стали в зависимости от ее толщины и выявить влияние наклепа. Учитывая это влияние, следует, по мнению автора, до получения уточненных экспериментальных данных ориентироваться в расчетах для шин толщиной 3 и 4 мм на величины, указанные в таблице для стали толщиной 5 мм. Погрешности при этом не будут иметь практического значения.

Напряженность магнитного поля определяется по формуле:

$$H = \frac{0,4\pi I}{p} = 1,257 \frac{I}{p}.$$

При принятом расположении шин в шинных сборках и при незначительных длинах линий шинных сборок, как показали произведенные про-

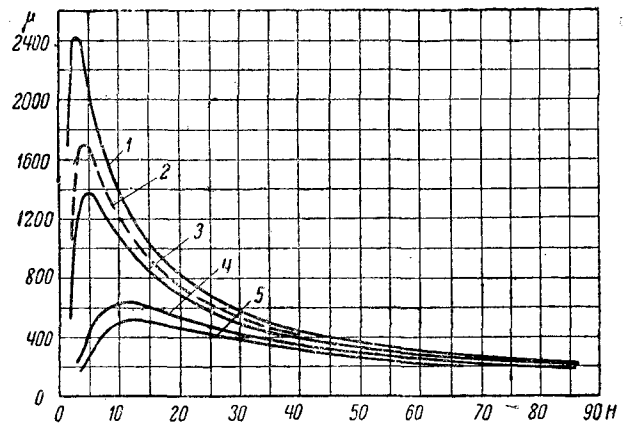


Рис. 3. Кривые магнитной проницаемости стали.

1—3 — для мягкой стали с процентным содержанием углерода соответственно — 0,09%; 0,15% (пунктирная кривая) и 0,22%; 4 и 5 — для твердой стали с содержанием углерода 0,47 и 0,66%

верочные расчеты, величина внешней самоиндукции настолько мала, что для упрощения расчетов ею возможно пренебречь.

Индуктивное сопротивление стальных шин определяется с достаточной точностью по Циклеру.

Коэффициент внутренней самоиндукции:

$$L_{wi} = \frac{tg \varphi}{\omega} R_w.$$

Индуктивное сопротивление стальных шин:

$$X = L_w \omega = tg \varphi R_w.$$

Для $K \leq 1$ имеем: $X = 0,564 \cdot R_w$.

$\cos \varphi$ стальных шин (для мягкой стали при $K \leq 1$), вычисленный на основе результатов лабораторного испытания шинной сборки, подтверждает правильность указанной в формуле Циклера величины.

Для упрощения расчетов составлена приведенная ниже таблица со всеми расчетными данными

Данные для расчета стальных шин с содержанием углерода 0,15% при удельном сопротивлении стали $\rho = 0,135 \frac{mm^2}{m}$

I A	$H=1,257 \frac{I}{p}$	μ	k	$\frac{R_w}{R_g}$	R_w Ω/m	X Ω/m	α при $\cos \varphi = 0,7$
----------	-----------------------	-------	-----	-------------------	--------------	------------	-----------------------------------

Шины 25 × 5 mm

40	8,0	1300	2,68	3,75	0,00410	0,00250	0,0080
60	12,0	1050	2,43	3,50	0,00370	0,00220	0,0072
80	16,0	900	2,19	3,30	0,00350	0,00200	0,0067

Шины 50 × 5 mm

40	4,64	1700	2,93	4,10	0,00276	0,00155	0,0052
60	6,96	1590	2,84	4,00	0,00270	0,00152	0,0051
80	9,28	1250	2,52	3,62	0,00254	0,00143	0,0048
100	11,60	1170	2,44	3,54	0,00240	0,00135	0,0045
150	17,40	870	2,08	3,04	0,00202	0,00114	0,0038

Шины 80 × 5 mm

40	3,0	1400	2,74	3,88	0,00166	0,00093	0,0031
60	4,5	1700	3,05	4,30	0,00181	0,00102	0,0034
80	6,0	1650	2,97	4,17	0,00175	0,00099	0,0033
100	7,5	1450	2,85	4,03	0,00169	0,00095	0,0032
150	11,3	1180	2,50	3,62	0,00152	0,00085	0,0029
200	15,0	930	2,23	3,30	0,00139	0,00078	0,0026

² E & M, Heft 15, April, 1920.

для рекомендуемых к применению в магистральных линиях сечений полосовой стали. Величины, приведенные в таблице, рассчитаны автором по формулам Циклера для наиболее часто встречающейся стали (марки „Сталь 3“), со средним содержанием углерода 0,15%. Удельное сопротивление при постоянном токе такой стали $\rho = 0,135 \Omega$ при температуре 20°C .

Как видно из помещенной на рис. 3 кривой, магнитная проницаемость уменьшается с увеличением процентного содержания углерода. Следовательно, с увеличением содержания углерода уменьшается и сопротивление при переменном токе. Поэтому для переменного тока следует, как правило, ориентироваться на применение стальных шинопроводов с большим содержанием углерода марки „Сталь 5“ (0,37% углерода) и марки „Сталь 6“ (0,5% углерода).

Учитывая, что в настоящее время чаще всего встречается малоуглеродистая сталь, составлены таблицы для проверки потерь для наименее бла-

гоприятного случая. Для стали марки „Сталь 5“ и „Сталь 6“ таблицы должны быть соответственно пересчитаны.

В целях дальнейшего упрощения расчетов формулу для проверки потери напряжения в трехфазной линии приводим к следующему виду:

$$e = all [V].$$

Величина a , приведенная в этой формуле, дана в таблице для каждого сечения шины в зависимости от силы тока и от коэффициента мощности.

Коэффициент мощности для силовой нагрузки металлообрабатывающей промышленности составляет $\cos \varphi = 0,7$ (при максимуме нагрузки для расчета фидеров). Аналогичные таблицы должны быть составлены для разного сортамента стали и для разных коэффициентов мощности.

При наличии готовых таблиц и при использовании приведенной формулы проверка линии на потерю напряжения и подсчет потери энергии значительно упрощаются.

Высокочастотные конденсаторные нагреватели для тонких проволок

Инж. Г. И. БАБАТ

Завод „Светлана“

Индукционный нагрев металлов в быстропеременных электромагнитных полях получил в настоящее время широкое промышленное применение.



Инж. Г. И. Бабат

Однако имеется ряд объектов, которые до сих пор не удавалось нагревать электромагнитным

полем. К таким объектам относятся, например, тонкие проволоки.

Если поместить круглую проволоку в индуктор, ось которого параллельна оси проволоки, то отношение мощности, выделяющейся в проволоке, P_a к мощности, теряемой в индукторе, P_i в самом благоприятном случае (при весьма высокой частоте) будет равно:

$$\frac{P_a}{P_i} = \frac{d_a}{d_i} \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_i}},$$

где d_a и d_i — диаметры проволоки и индуктора, а ρ_a и ρ_i — удельные сопротивления материалов проволоки и индуктора. Радиус индуктора практически не может быть сделан меньше нескольких миллиметров, отсюда следует, что для проволок с диаметром меньше одного миллиметра получается совершенно ничтожный к. п. д. нагрева.

Увеличить к. п. д. нагрева можно, направив нагревающий ток вдоль проводника вместо того, чтобы дать ему циркулировать в виде замкнутых контуров вокруг оси проводника.

До сих пор удавалось направить ток вдоль проводника только при помощи контактов, приложенных к двум его точкам. Между тем в ряде случаев контактный метод нагрева совершенно неприменим, — например, для изолированной проволоки (эмалированной, оксидированной).

Известны попытки осуществления бесконтактного продольного нагрева проволоки, перематываемой с одной катушки на другую, путем воздействия на нее диполя Герца, возбуждаемого генератором. Однако при подобной схеме нагрева значительная часть энергии излучается в окружающее пространство, и к. п. д. нагрева будет невысок.

Ниже описывается новый тип высокочастотного нагревателя — „конденсаторный нагреватель“.

Принцип такого нагревателя заключается в том, что вдоль подлежащей нагреву проволоки рас-

полагаются два отрезка системы Лехера, наводящие в проволоке стоячую волну (рис. 1). Внешнее поле такой системы значительно слабее, чем у диполя, и поэтому потери на излучение электромагнитной энергии ничтожны.

На рис. 2 показано выполнение конденсаторного нагревателя, дающего максимальный к. п. д. нагрева. В этой конструкции лехеровские системы выполнены в виде двух concentрических труб. Внешнее поле такой системы очень мало.

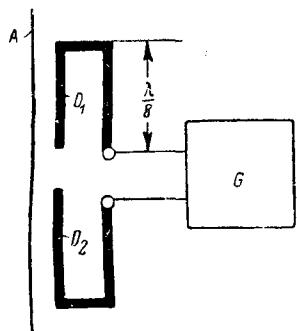


Рис. 1. Схема трансформации диполя в конденсаторный нагреватель:

A — нагреваемая проволока, D₁, D₂ — ветви диполя, G — генератор

Рис. 2. Конструктивное оформление конденсаторного нагревателя в виде полого concentрического вибратора

На рис. 3 показана другая конструкция — так называемого коробчатого типа. Эта конструкция очень проста в выполнении, нагреваемые объекты легко доступны наблюдению; кроме того, в нагревателе коробчатого типа легко одновременно нагревать несколько проволок. Вполне очевидно,

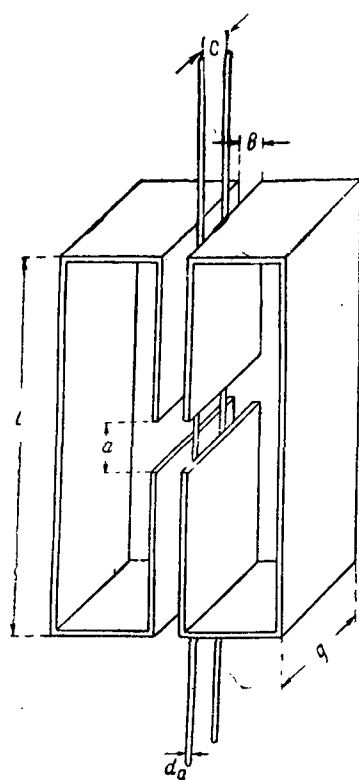


Рис. 3. Конденсаторный нагреватель коробчатого типа

что для увеличения тока, проходящего через нагреваемую проволоку, частота тока должна быть как можно выше. Для этого необходимо, чтобы сам нагреватель являлся и колебательным контуром; включение всяких дополнительных индуктивностей или емкостей неизбежно вызовет увеличение длины волны λ .

В развернутом виде длина конденсаторного нагревателя равна $\frac{\lambda}{2}$, а в сложенном виде $\frac{\lambda}{4}$. Длину нагревателя в сложенном виде будем обозначать l (рис. 2 и 3).

Возможно возбудить конденсаторный нагреватель на более высокой частоте, чем соответствующей волне $\lambda = 4l$.

Принципиально можно получать волны $\lambda = \frac{2l}{\left(n + \frac{1}{2}\right)}$, где n — любое (включая нуль) це-

лое положительное число; необходимо только, чтобы расстояние между электродами конденсаторного нагревателя и обратным проводником было значительно меньше длины волны.

На рис. 4 показано распределение тока и напряжения в конденсаторном нагревателе, работающем на волне $\lambda = \frac{4}{3}l$.

Если нагреву подвергается изолированный отрезок проводника, длина которого равна длине нагревателя, то на этом проводнике будет существовать стоячая волна. По концам будут узлы тока и пучности напряжения, в средней части проводника — узел напряжения и пучность тока.

При нагреве длинного проводника, выходящего за пределы нагревательного устройства, помимо стоячей волны, будет существовать также бегущая волна. Однако ввиду больших потерь в про-

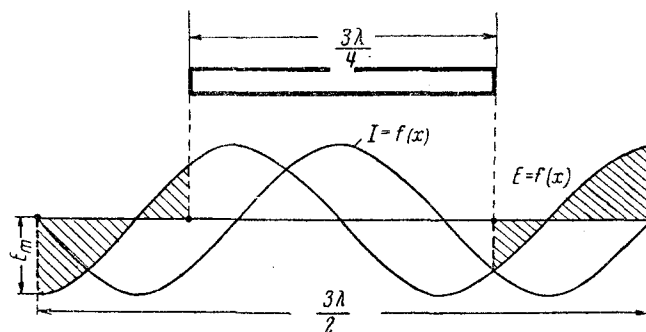


Рис. 4. Распределение тока и напряжения в конденсаторном нагревателе, работающем на гармонике

воднике бегущая волна быстро затухает. Поэтому излучение в окружающее пространство будет незначительно, и на небольших расстояниях от нагревателя проволока может быть заземлена.

Рассмотрим некоторые числовые соотношения в конденсаторном нагревателе, работающем на основной волне. Предположим, что нагреву подвергается круглый проводник диаметром d_a . Обозначим емкость между проводником и электродами нагревателя, приходящуюся на единицу длины, ΔC . Длина каждого активного участка каждого электрода нагревателя, работающего на основной волне, не может быть больше $\frac{1}{8}\lambda$. Практически длина обкладки равна $0,1\lambda$.

Действующее напряжение между внутренним краем нагревательного электрода и проводником обозначим E_i . Тогда напряжение между проводником и внешним краем электрода будет: $E_i \cos \frac{\pi}{4} = 0,7E_i$.

Омическое сопротивление проводника столь мало по сравнению с емкостным сопротивлением между проводником и электродом нагревателя, что не оказывает никакого влияния на силу тока в проволоке. Поэтому значение тока в средней части проволоки I_{a_0} можно вычислить по формуле:

$$I_{a_0} = E_i \Delta C \cdot 0,1 \lambda \cdot \omega = 19 \cdot 10^{-3} E_i \Delta C \text{ [A]}, \quad (1)$$

где ΔC выражено в сантиметрах.

При выводе этой формулы длина обкладки нагревателя принимается равной $0,1\lambda$, и при изменении частоты ω длина нагревателя, следовательно, меняется, а величина I_{a_0} не зависит от частоты.

Когда проводник диаметром d_a находится внутри трубки диаметром d_i (рис. 2), то емкость, приходящаяся на единицу длины (в см), будет равна:

$$\Delta C = \frac{1}{4,6 \lg \frac{d_a}{d_i}}.$$

Эту же формулу можно применить к проводнику, находящемуся между двумя плоскими пластинами (рис. 3) при условии, что $g > b$ и $c > b$ — если вместо d_i в формулу подставить величину b .

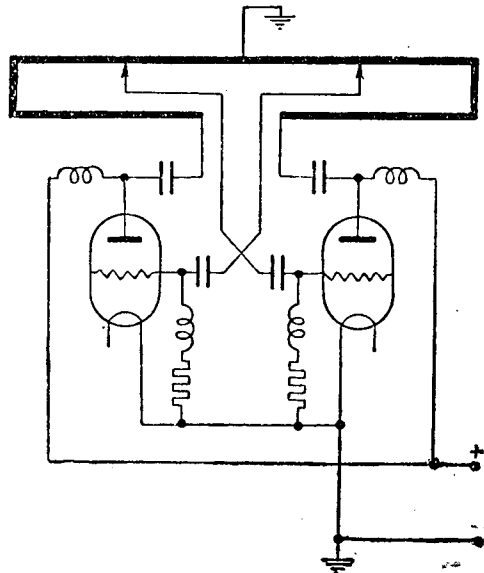


Рис. 5. Двух-тактная схема включения конденсаторного нагревателя

Таким образом:

$$I_{a_0} = 4 \cdot 10^{-3} \frac{E_i}{\lg \frac{d_a}{d_i}}. \quad (2)$$

При вычислении мощности, выделяющейся в проводнике, надо иметь в виду два возможных случая:

1. Глубина проникновения тока в материале проводника меньше его диаметра, и ток течет в тонком поверхностном слое.

2. Глубина проникновения тока в материале проводника больше его диаметра и ток равномерно распределен по всему сечению проводника.

В первом случае омическое сопротивление одного погонного сантиметра проводника будет равно:

$$\Delta R = 6 \cdot 10^{-5} \frac{\sqrt{\rho \mu f}}{d_a} \left[\frac{\Omega}{\text{см}} \right], \quad (3)$$

где f — частота тока, а μ — магнитная проницаемость материала проволоки.

Мощность, выделяющаяся на единице длины, будет:

$$P_a = 5,7 \cdot 10^{-9} \frac{E_i^2 \sqrt{\rho \mu f}}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}} \right], \quad (4)$$

а удельная мощность, приходящаяся на единицу поверхности проводника, составит:

$$\Delta P_a = 1,8 \cdot 10^{-9} \frac{E_i^2 \sqrt{\rho \mu f}}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a^2} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}^2} \right]. \quad (5)$$

Подставим в эти формулы для меди $\rho = 1,7 \times 10^{-6} \Omega \text{см}$, а для железа при температурах выше точки Кюри $\rho = 100 \cdot 10^{-6}$, получим для меди:

$$P_{\text{Cu}} = 7,9 \cdot 10^{-12} \frac{E_i^2 \sqrt{f}}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}} \right] \quad (6)$$

и

$$\Delta P_{\text{Cu}} = 2,5 \cdot 10^{-12} \frac{E_i^2 \sqrt{f}}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a^2} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}^2} \right], \quad (7)$$

а для железа:

$$P_{\text{Fe}\gamma} = 5,7 \cdot 10^{-11} \frac{E_i^2 \sqrt{f}}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}} \right], \quad (8)$$

$$\Delta P_{\text{Fe}\gamma} = 1,8 \cdot 10^{-11} \frac{E_i^2 \sqrt{f}}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a^2} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}^2} \right]. \quad (9)$$

Если принять, например, частоту $f = 10^8 \text{ Hz}$ ($\lambda = 3 \text{ м}$), $d_i = 1 \text{ см}$, $d_a = 0,1 \text{ мм}$, $E_i = 5000 \text{ V}$, то для медной проволоки:

$$P_{\text{Cu}} = 50 \frac{\text{W}}{\text{см}} \quad \text{и} \quad \Delta P_{\text{Cu}} = 1,6 \frac{\text{kW}}{\text{см}^2},$$

а для железной проволоки:

$$P_{\text{Fe}} = 360 \frac{\text{W}}{\text{см}} \quad \text{и} \quad \Delta P_{\text{Fe}} = 12 \frac{\text{kW}}{\text{см}^2}.$$

Приведенные расчеты показывают, что предлагаемый конденсаторный нагреватель способен выделять на проволоке довольно большие мощности. При этом важно отметить, что чем меньше диаметр проволоки, тем большую мощность на ней можно выделить. При диаметрах же проволоки, больших 1 мм, даже при весьма высоких напряжениях на электродах (до 10 kV) выделяемая мощность будет мала. Поэтому конденсаторный нагреватель выгоднее всего использовать для нагрева проволок диаметром меньше 0,5 мм.

В конденсаторных нагревателях применяются частоты выше 10^7 Hz и поэтому глубина проникновения тока ($z = 5 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ мм}$) обычно значительно меньше диаметра нагреваемой проволоки.

Для расчетов, следовательно, можно пользоваться формулами (4) и (5). Однако для полноты картины рассмотрим и второй случай, когда $d_a \leq z$ и ток равномерно распределен по сечению проводника.

В этом случае омическое сопротивление одного погонного сантиметра проводника будет равно:

$$\Delta R = \frac{4\rho}{\pi d^2}.$$

Мощность, выделяющаяся на единице длины проводника, будет равна:

$$P_a = 2 \cdot 10^{-5} \frac{E_i^2 \rho}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a^2} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}} \right]. \quad (10)$$

Мощность, приходящаяся на единицу поверхности проводника:

$$\Delta P_a = 6,5 \cdot 10^{-6} \frac{E_i^2 \rho}{\left(\lg \frac{d_a}{d_i} \right)^2 d_a^3} \left[\frac{\text{W}}{\text{см}^2} \right]. \quad (11)$$

Когда требуется нагревать одновременно несколько проволок (рис. 3), то необходимо, чтобы расстояние между ними было не меньше расстояния между проволокой и электродом нагревателя $\frac{b}{2}$. Если расположить проволоки более тесно, то емкостной ток, текущий по каждой проволочке, будет мал, и к. п. д. нагрева упадет.

На рис. 5 показан один из вариантов схем включения конденсаторного нагревателя. Из соображений техники безопасности здесь применена

схема параллельного питания. При этом на нагреватель приходится только напряжение высокой частоты. Для возбуждения колебаний в этом нагревателе была применена лампа с лучистым охлаждением анода типа ГО-500 с анодным напряжением на ней до 3 kV.

На опытной установке удавалось нагревать до расплавления медные, никелевые, железные, вольфрамовые и молибденовые проволоки диаметром до 0,2 мм.

О проблеме тихоходного соленоидного привода переменного тока

Канд. техн. наук А. И. МОСКВИТИН

Всесоюзный электротехнический институт

Во многих производствах требуется придать рабочему органу машины возвратно-поступательное движение с относительно небольшой частотой колебаний (порядка 120—80 в минуту и меньше) при большом тяговом усилии — от нескольких тонн до десятков тонн. Таковы, например, приводы для качающегося конвейера в угольной промышленности, сотрясательно-формовочные и прессовые машины в литейном деле, прессы в кирпичной промышленности и т. п. Обычно в таких случаях применяют привод с электродвигателем, причем для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное и для снижения числа ходов штока ставят ту или иную механическую передачу.

Весьма заманчивой представляется идея применить для таких машин электромагнитный привод, который дает требуемое возвратно-поступательное движение непосредственно — без всякой механической передачи. Судя по большому количеству предложений такого рода, с которыми, в частности, пришлось знакомиться автору данной заметки, изобретательская мысль за границей, и в особенности в СССР, усиленно работает над этой задачей, правильное решение которой принесло бы значительную выгоду для народного хозяйства. Однако, к сожалению, приходится отметить, что авторы таких предложений часто находятся на неправильном пути, а именно: предлагают применить для этого электромагнит переменного тока с переключателем. Задача настоящей заметки — отметить недостатки такого решения. Вместе с тем данный случай является весьма поучительным примером по обобщенному понятию быстроходности в электрических машинах и представляет интерес с точки зрения общей теории электрических машин.

Таким образом предстоит рассмотреть, каковы будут рабочие характеристики электромагнита переменного тока как электрической машины при небольшой частоте хода якоря (если, например, включать и выключать его с требуемой частотой).

Чтобы рассуждать более конкретно, зададимся целью рассчитать такой электромагнит для привода качающегося конвейера в угольной промышленности при исходных условиях, примерно соответствующих условиям обычного конвейера:

среднее усилие тяги $F_{cp} = 3000$ kg; ход штока $s = 100$ мм; частота качаний $n = 80$ качаний в минуту.

1. Основной недостаток такого электромагнита, как мы сейчас увидим, тот, что он должен потреблять очень большой ток примерно в 100 раз больше, чем обычный электромоторный привод. Объясняется это весьма низким $\cos \varphi$ и к. п. д. такого электромагнита, что происходит вследствие медленного движения якоря и соответственно малой э. д. с. движения, при большой частоте пульсаций потока (50 Hz), т. е. при высокой э. д. с. пульсаций.

Для определения потребляемого тока найдем прежде всего необходимое сечение сердечника каждой фазы, а отсюда — поток, число витков и ампервитки.

Сечение сердечника одной фазы трехфазного электромагнита, как известно, в первом приближении определяется по тяговому усилию и индукции в зазоре:

$$Q \approx \frac{2}{3} F \left(\frac{5000}{B} \right)^2 [\text{см}^2],$$

где F — тяговое усилие в kg; B — индукция в зазоре в G.

Задаемся $B = 13000$ G; $F = 3000$ kg. Требуемое сечение сердечника каждой фазы $Q = 294$ см². Магнитный поток $\Phi = B \cdot Q = 3,82 \cdot 10^6$ M.

При ходе якоря $s = 10$ см принимаем средний зазор $\delta = \frac{s}{2} = \frac{10}{2} = 5$ см. Ампервитки каждой фазы $AW = 0,8 B \cdot \delta = 52 \cdot 10^3$ (!).

Выбираем соединение обмоток в звезду, напряжение у клемм 220 V. Число витков каждой фазы¹

$$w_1 = \frac{U \cdot 10^8}{\sqrt{3} \cdot 4,44 f \cdot \Phi} = 15.$$

Намагничивающий ток $I_\mu = \frac{AW}{w_1 \sqrt{2}} = 2450$ A.

Намагничивающая мощность $P_\mu = I_\mu \cdot U \cdot \sqrt{3} = 930$ kVA (!), что примерно в сто раз больше, чем общая потребляемая мощность нормального двигателя для качающегося конвейера.

Средняя намагничивающая мощность за цикл

¹ В первом приближении пренебрегаем рассеянием и омическим падением напряжения; с учетом рассеяния число витков будет меньше и намагничивающий ток — больше.

(считая, что половину времени электромагнит выключен) $P_{\mu cp} = \frac{930}{2} = 465 \text{ kVA}$.

Двигатель с таким потреблением тока, конечно, нельзя будет поставить ни в какой шахте. Следует заметить, что при таком принципе нет никаких средств для уменьшения намагничивающей мощности. Она не будет изменяться, если, например, взять меньшую индукцию в зазоре или, что то же самое, выполнить сердечник и стоп со скосами или при помощи рычажной передачи уменьшить ход якоря. Действительно, если мы вместо прежней индукции в зазоре B_1 возьмем меньшую индукцию $B_2 = \frac{B_1}{k}$, то для сохранения прежней величины тягового усилия придется увеличить сечение сердечника в k^2 раз. Следовательно, намагничивающая мощность

$$P_{\mu 2} = 2,5 \cdot f \cdot \frac{B_1}{k^2} \cdot Q_1 \cdot k^2 \cdot n \cdot \delta_1 \cdot 10^{-8} = P_{\mu 1}$$

остается без изменения.

Точно так же, если посредством рычажной передачи уменьшить ход, но оставить индукцию прежней, иначе говоря, если принять $\delta_1 = \delta_2 \cdot k$, то для сохранения прежней работы электромагнита необходимо будет во столько же раз увеличить тяговое усилие, т. е. увеличить сечение Q в k раз, и мощность P_{μ} опять-таки не изменится.

2. Второй недостаток такого двигателя — это низкие рабочие характеристики. При этом, как показывает подробный расчет такого электромагнита, к. п. д. такого двигателя будет относительно высоким — около 0,25, но $\cos \varphi$ его будет крайне низок — всего около 0,04.

Представление о порядке этих величин можно получить, если определить полезную мощность, развиваемую таким электромагнитом при 80 качаниях в минуту.

Полезная работа за период одного качания (ход туда и обратно) $A = Fs = 300 \text{ kgm}$. Полезная мощность $P_2 = 4 \text{ kW}$, тогда как общая потребляемая кажущаяся мощность (средняя) $P_1 \approx P_{\mu cp} = 465 \text{ kVA}$ примерно в 100 раз больше.

Такие низкие рабочие характеристики двигателя объясняются его крайней тихоходностью, т. е. малой частотой ходов якоря и соответственной малой величиной противозлектродвижущей силы „движения“, наводимой при ходе якоря (в обычных электродвигателях эта э. д. с. движения всего на 10—15% меньше напряжения у клемм). Подсчитаем э. д. с. движения в данном случае.

Электродвижущая сила движения, как известно, определяется скоростью изменения индуктивности при движении якоря машины $e_r = -i \frac{dL}{dt}$.

В нашем случае ток i изменяется синусоидально. Поэтому э. д. с. движения также синусоидальна и противоположна по фазе вектору тока.

Скорость изменения индуктивности $\frac{dL}{dt}$ можно в данном случае определить для какого-либо

участка пути якоря приближенно, если известно изменение индуктивности ΔL на этом участке и время Δt , за которое якорь проходит его.

Мы выберем участок пути якоря от зазора 5,5 см до зазора 4,5 см. Индуктивность при зазоре 4,5 см будет $L_{4,5} = \omega^2 \Lambda \cdot 10^{-8} = 225 \frac{294}{4,5} 1,25 \times 10^{-8} = 1,85 \cdot 10^{-4} \text{ H}$; при зазоре 5,5 см $L_{5,5} = \omega^2 \Lambda \times 10^{-8} = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ H}$. Изменение индуктивности $\Delta L = 0,34 \cdot 10^{-4} \text{ H}$.

Время одного хода электромагнита $T \approx \frac{1}{4} \text{ sec}$.

Время прохождения якорем участка от зазора 5,5 до зазора 4,5 см (если весь ход якоря равен 10 см) $\Delta T = 0,025 \text{ sec}$. Эффективное значение э. д. с. $E_{эфф} = I_{эфф} \frac{\Delta L}{\Delta T} = 2450 \frac{0,34 \cdot 10^{-4}}{0,025} = 3,3 \text{ V}$, или 2,65% от напряжения сети (!), против 90% в нормальной машине.

В этой крайне низкой величине э. д. с. движения и заключается причина низкого $\cos \varphi$ электромагнита.

3. Соответственно тихоходности, малой величине $\cos \varphi$ и к. п. д. вес и стоимость такого привода будут гораздо больше, чем для нормального электродвигателя.

4. Кроме всего вышесказанного, проблема включения $\cos \varphi$ для таких больших токов с частотой 80 раз в минуту в настоящее время еще не решена.

Как видим, основной недостаток машины состоит в несоответствии между быстрой частотой пульсаций переменного потока машины, наводящей большую э. д. с. пульсаций, и низкой частотой движения якоря, наводящей весьма малую э. д. с. движения.

Естественный вывод из этого: ток необходимо предварительно выпрямлять; для выпрямления можно применить тириатроны или же купроксы и тому подобные неуправляемые выпрямители. Во втором случае необходимо какое-то устройство для управления (контактор и т. п.). Контакттам придется разрывать относительно небольшие токи, в особенности малые при применении тириатронов³.

Следует отметить, что таким путем еще не устраняется третий отмеченный недостаток электромагнитного двигателя — большой вес. Так например, электромагнит для прессовки кирпичей при полезной мощности около 5 kW имеет вес около 3 t (хотя общий вес всего пресса получается всего 6 t против 30 t электромеханического).

Плохое использование материала опять-таки объясняется низкой частотой изменения индуктивности, т. е. низкой частотой ходов якоря. Для устранения этого недостатка следует увеличить частоту изменения индуктивности, чего можно достичь переходом на принцип развернутой синхронной или асинхронной машины. Практически осуществить эти принципы в тихоходных машинах обычно затруднительно вследствие требующейся малой величины полюсного деления; однако очевидно, что только этот путь может дать некоторую экономию активных материалов.

² Это примерно соответствует порядку обычной мощности привода качающегося конвейера при данных облегченных условиях.

³ В последнем случае при применении рекуперативных схем можно обойтись даже вовсе без разрыва цепи при помощи контактов.

Синхронный генератор с возбуждением от твердых выпрямителей

Канд. техн. наук С. Б. ЮДИЦКИЙ
Всесоюзный электротехнический институт

Проведенное нами исследование показало, что машинный возбудитель синхронной машины в ряде случаев может быть с успехом заменен купроксным или селеновым выпрямителем. Применение выпрямителей позволяет значительно уменьшить габариты синхронной машины, упростить ее в производстве и обслуживании и дает экономию ак-

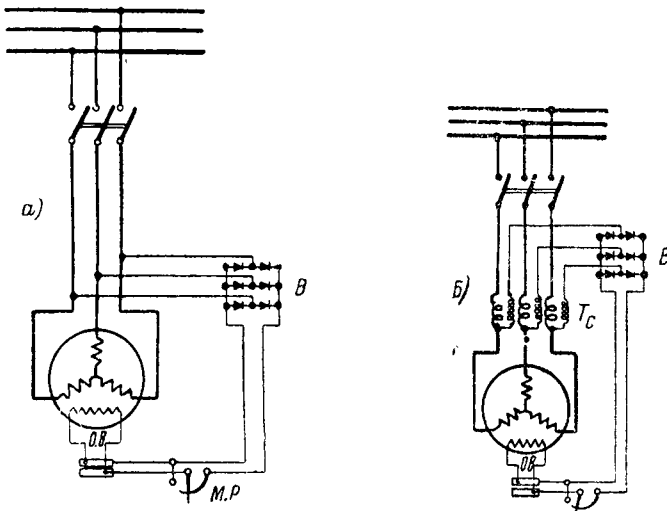


Рис. 1. Схемы возбуждения синхронного генератора от твердых выпрямителей, соединенных по схеме Гретца

тивных материалов, расходуемых на возбудитель.

На рис. 1 приведены две схемы возбуждения синхронной машины при соединении твердых выпрямителей по трехфазной схеме Гретца¹. Как видно из рисунка, напряжение от клемм синхронной машины подводится к выпрямителю В. Выпрямленное напряжение подается на обмотку возбуждения ОВ. Ток возбуждения регулируется посредством магнитного регулятора МР (схема а) или автоматически при помощи вольтодобавочного серийного трансформатора (схема б). Схема б была предложена автором² и исследована в ВЭИ. Как видно из рисунка, первичная обмотка вольтодобавочного серийного трансформатора I_c включается последовательно с генератором. Начала вторичной обмотки присоединяются к клеммам синхронного генератора, а концы — к выпрямителям. Благодаря такому соединению при холостом ходе генератора, когда ток в первичной обмотке трансформатора равен нулю, вторичная обмотка служит дросселем, понижающим подводимое к выпрямителям напряжение. С возрастанием нагрузки от нуля постепенно уменьшается падение напряжения во вторичной обмотке и затем в ней начинает наводиться добавочное напряжение, которое повышает напряжение, подводимое к твердым выпрямителям. Такое использование трансформатора дает возможность (как показала

¹ Эти схемы в равной степени, конечно, осуществимы при соединении твердых выпрямителей по трехфазной схеме с нулевым выводом, по эти варианты здесь опущены в целях экономии места.

² Заявка № 31438 от 20/III 1940.

опытная проверка) получить нужный предел регулирования при малой величине вольтодобавочного трансформатора.

Сопротивление цепи обмотки возбуждения, как видно из схемы а, состоит из сопротивлений обмотки возбуждения $R_{ш}$, магнитного регулятора R_p и твердых выпрямителей $R_в$. В процессе возбуждения сопротивление обмотки возбуждения $R_{ш}$ и магнитного регулятора R_p остаются постоянными, сопротивление же твердых выпрямителей $R_в$ изменяется в зависимости от величины приложенного напряжения или величины тока.

Поэтому между приложенным к цепи возбуждения напряжением и током возбуждения не будет существовать прямой пропорциональности.

При соединении твердых выпрямителей по трехфазной схеме с нулевым выводом ток возбуждения

$$I_в = \frac{1,17U_л}{\sqrt{3}(R_{ш} + R_p + R_в)},$$

при соединении их по схеме Гретца

$$I_в = \frac{1,35U_л}{(R_{ш} + R_p + R_в)},$$

где $U_л$ — эффективное переменное линейное напряжение.

Приняв во внимание, что при начале процесса самовозбуждения сопротивление магнитного регулятора полностью выводится ($R_p = 0$), эти уравнения можно переписать в следующем виде: при соединении по схеме с нулевым выводом

$$U_л = 1,48I_в(R_{ш} + R_в),$$

по схеме Гретца

$$U_л = 0,74I_в(R_{ш} + R_в).$$

По данным сопротивления обмотки возбуждения, кривой изменения сопротивления купроксного выпрямителя и в зависимости от плотности тока можно рассчитать и построить кривую зависимости тока возбуждения $I_в$ от напряжения $U_л$.

На рис. 2 приведена такая кривая, построенная для случая соединения выпрямителей по трехфазной схеме с нулевым выводом.

Из рис. 2, где также приведена начальная часть характеристики холостого хода синхронного генератора, видно, что в начале кривая тока возбуждения идет выше характеристики холостого хода. Вследствие этого само-

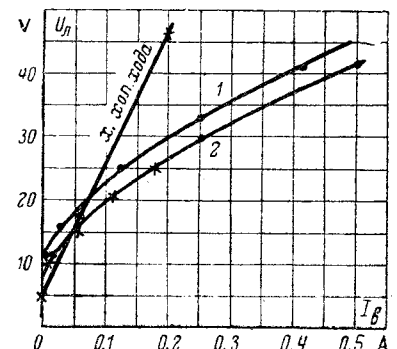


Рис. 2. Ток возбуждения в зависимости от величины линейного переменного напряжения при двух (кривая 1) и четырех (кривая 2) параллельных цепях в каждой ветви выпрямительной схемы

возбуждение невозможно, так как для получения тока возбуждения потребуется приложить напряжение большее, чем то, которое генератор при этом же токе возбуждения может создать. Отсюда следует, что у синхронных машин с малым остаточным магнетизмом самовозбуждение невозможно вследствие большой величины сопротивления твердых выпрямителей при небольшой величине приложенного к выпрямителям напряжения.

Для обеспечения самовозбуждения машины можно достичь повышения напряжения от остаточного потока, увеличив остаточный магнетизм. Нами предложено усилить остаточный магнетизм посредством применения у сердечников магнитных полюсов прокладок из стали с большой коэрцитивной силой.

Из применяемых в практике магнитных сортов стали (хромистой, вольфрамовой, кобальтовой и пр.) наиболее пригодна для прокладок хромистая сталь. Эта сталь относительно дешева, изготавливается целиком из сырья, добываемого в Союзе, и не представляет особых трудностей при механической обработке. Хромистая сталь к тому же достигает насыщения при более высокой индукции.

Напряжение остаточного магнетизма U_o , необходимое для обеспечения самовозбуждения синхронной машины, может быть определено из построения кривой зависимости тока возбуждения от величины напряжения переменного тока, подводимого к купроксам (рис. 2). По величине U_o может быть получена величина требуемой остаточной индукции в воздушном зазоре по формуле:

$$B_o = \frac{B_l U_o}{U_a},$$

где B_l — индукция в воздушном зазоре при номинальном напряжении U_a машины.

Пренебрегая магнитным сопротивлением железа, получим требуемое число ампервитков для создания остаточной индукции в воздушном зазоре δ :

$$AW_o = 0,8K_1 \delta B_o,$$

где K_1 — коэффициент Картера.

Ампервитки, развиваемые постоянным магнитом на 1 см, его высоты при индукции на выходе постоянного магнита не выше 3000 G,

$$AW_m = \frac{H_d}{0,4 \cdot \pi} = \frac{0,95 \cdot H_c}{0,4 \cdot \pi} = 0,76 H_c.$$

Здесь H_d — м. д. с., развиваемая во внешнем пространстве при индукции 2000—3000 G. Для хромистой стали $H_d \approx 0,95 H_c$ (H_c — коэрцитивная сила в эрстедах).

Высота прокладки приблизительно может быть определена, без учета рассеяния магнитного потока и магнитного сопротивления железа, из отношения:

$$h = \frac{AW_o}{AW_m} = \frac{0,8K_1 \delta B_o}{0,76 H_c}.$$

Конструктивное оформление. Разработка возбуждения синхронного генератора от купроксных выпрямителей была проведена для синхронного генератора завода им. Калинина СГ 15/6. Основные данные этого генератора следующие: 15 kVA, 230 V, 37,5 A, 1000 об/мин, $2p = 6$, мощность возбуждения 400 W.

Конструктивное оформление машины может быть выполнено в двух видах (рис. 3). Как видно из рисунка, вместо обычного возбудителя синхронный генератор имеет твердый выпрямитель 1. Этот выпрямитель вмонтирован в передний подшипниковый щит таким образом, что струи воздуха, засасываемые вентилятором 4, охлаждают выпрямитель, благодаря этому использование выпрямителя увеличивается в 3—4 раза.

При первом выполнении (левые проекции на рис. 3) все выпрямители крепятся в корпусе, являющемся продолжением подшипникового щита 3. Такое размещение имеет то достоинство, что выпрямители собраны компактно и хорошо защищены. При втором выполнении (крайняя правая проекция на рис. 3) выпрямители размещены у входных отверстий щита. В этом случае длина синхронной машины уменьшается в большей степени. Габарит по длине синхронной машины с возбуждением от купроксных выпрямителей при первом выполнении уменьшается на 177 мм, а при втором — на 268 мм по сравнению с нормальной машиной той же мощности с машинным возбудителем.

Для обеспечения самовозбуждения предусмотрены специальные магнитные прокладки 2 из хромистой стали марки X-2 или 3X-12. При высоте этих прокладок 1,5 см в машине будет наводиться добавочное остаточное напряжение 20 V, что даст почти двойной запас требуемого остаточного напряжения.

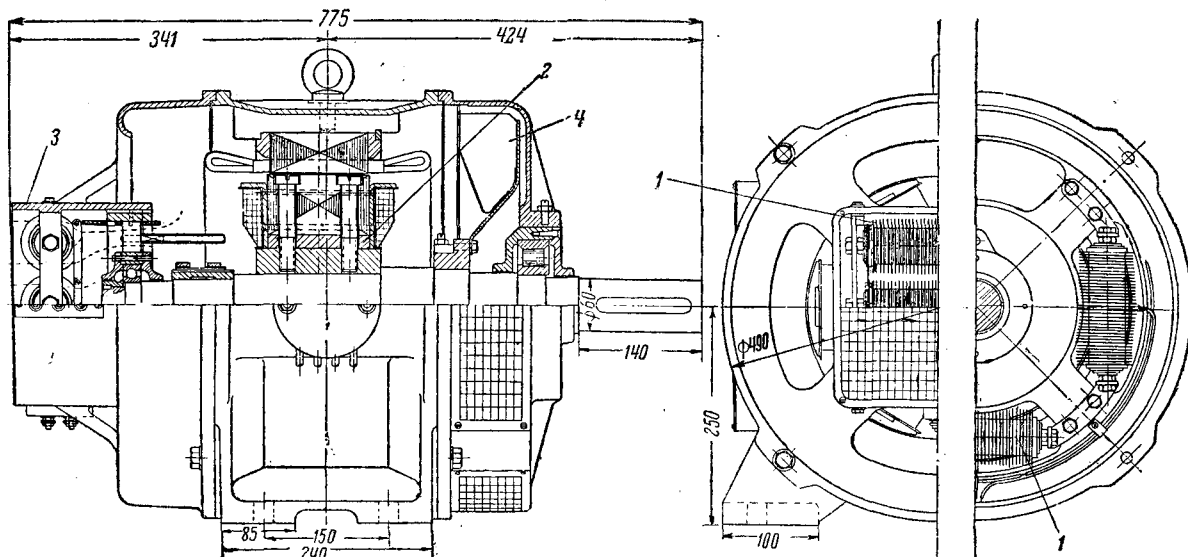


Рис. 3

В связи с переходом на другое напряжение возбуждения (выпрямленное напряжение синхронного генератора) обмотка возбуждения машины соответственно изменяется.

Ток возбуждения при напряжении 210 В и соединении купроксных выпрямителей по схеме Гретца равен 2 А и 4 А при схеме с нулевым выводом и напряжении 105 В.

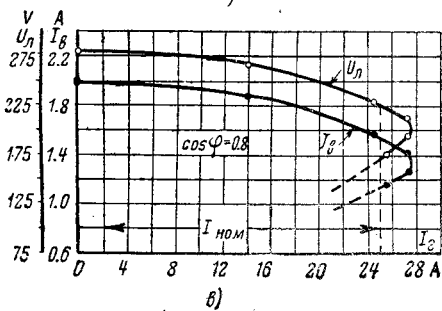
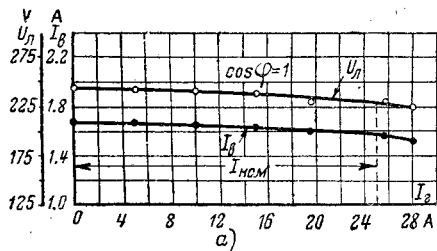


Рис. 4. Внешняя характеристика синхронного генератора

Купроксный выпрямитель, как видно из рис. 3, состоит из трех комплектов („столбиков“), каждый комплект содержит 68 выпрямительных элементов с диаметром 41/12,5 мм. Для лучшего охлаждения имеются радиаторные диски с внешним диаметром 65 мм по одному диску на два выпрямителя.

Исследование генератора. Опыты проводились с синхронным генератором мощностью 10 kVA, 230 В, 25 В, 1500 об/мин с возбуждением от купроксных выпрямителей, соединенных по схеме Гретца.

Для обеспечения самовозбуждения генератора были предусмотрены у сердечников полюсов магнитные прокладки из хромистой стали Х-2. При высоте этих прокладок в 15 мм в генераторе наводилось остаточное напряжение 25 В. Определение внешней характеристики генератора производилось при неизменном положении регулирующего реостата после установки его на нужном положении. По данным опыта построены кривые зависимости напряжения генератора U_{λ} и тока возбуждения I_{β} от тока нагрузки при $\cos \varphi = 1$ (рис. 4, а) и 0,8 (рис. 4, б).

На рис. 4, а получаем, что повышение напряжения при сбросе нагрузки и $\cos \varphi = 1$ мало и составляет 6,55%.

Несколько больше повышение напряжения при $\cos \varphi = 0,8$ (21,7%). Но и это повышение напряжения не выходит за нормы для генераторов с машинным возбудителем.

На первый взгляд может показаться неожиданным такое относительно небольшое повышение напряжения у исследуемого самовозбуждающегося генератора. Но оно объясняется тем, что благодаря применению магнитных прокладок у сердечников полюсов получается более благоприятная форма кривой намагничивания генератора для его устойчивой работы, — кривая имеет более крутой подъем в начальной ее части и более полого в остальной части характеристики.

При рассмотрении рис. 4, в видно также, что

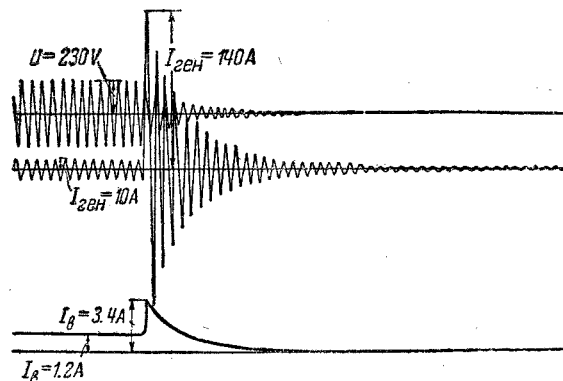


Рис. 5. Ударное к. з. синхронного генератора с возбуждением от твердых выпрямителей

синхронный генератор при чрезмерной нагрузке, благодаря уменьшению тока возбуждения, разгружается аналогично шунтовой машине постоянного тока.

С испытуемым генератором были проведены опыты ударного к. з. Генератор возбуждался и нагружался небольшой активной нагрузкой в 10 А и затем закорачивался специальным автоматом. Как видно из осциллограмм опыта ударного к. з., напряжение U_{λ} генератора (верхняя кривая рис. 5) после к. з. резко уменьшается и достигает почти нуля. Ток статора I_{λ} (средняя кривая) до к. з. был равен 10 А. В момент к. з. он сильно возрос и затем упал почти до нуля. Ток возбуждения I_{β} (нижняя кривая) в момент к. з. увеличился вследствие наведения тока в роторе изменяющимся потоком машины, после чего он уменьшился до нуля. Падение тока возбуждения до нуля является особенностью генератора с возбуждением от твердых выпрямителей, которая обеспечивает снижение тока к. з. статора почти до нуля после окончания переходного процесса. Вследствие этого исчезает опасность перегрева машины при к. з. Максимальный ток статора при ударном к. з. достигал 140—150 А.

Из многократных опытов также получено, что после ударного к. з. остаточное напряжение, получаемое благодаря применению прокладок, снижается с 25 В только до 14—15 В, что вполне достаточно для самовозбуждения. После ударных к. з. синхронный генератор безотказно самовозбуждался.

Электробуксирная тяга на каналах

Инж. Э. Я. ЯНОВСКАЯ

Ленинград

Электробуксирная тяга на каналах до сих пор не имела нигде применения, несмотря на большие технические и экономические преимущества этого вида тяги перед паробуксирной и электровозной тягой.

Электровозная тяга требует устройства железнодорожного пути, что увеличивает капиталовложение на оборудование канала почти в два раза по сравнению с электробуксирной тягой. Кроме того, при электровозной тяге бечевник занят проложенным на нем рельсовым путем, что служит препятствием для проезда по бечевнику другого вида транспорта. Все прибрежные здания и различные сооружения должны быть отнесены за бечевник. Наконец, боковое тяжение при тяге электровозом и территориальное разделение тягового механизма от буксируемого каравана создает значительное затруднение для управления возом.

По сравнению с паробуксирной электробуксирная тяга имеет еще больше преимуществ.

Простота оборудования электробуксира значительно облегчает эксплуатацию его и снижает численность его команды. Легкость маневрирования и управления им непосредственно из рулевой рубки одним штурманом обеспечивает безаварийную работу. Отсутствие затраты времени на погрузку топлива и чистку котлов и постоянная готовность к работе позволяют значительно увеличить число часов использования электробуксира и дают возможность строго соблюдать график движения.

Наличие дешевой электроэнергии на каналах, получаемой от гидроэлектрических или тепловых электрических станций, снижает стоимость перевозок по сравнению с паробуксирами. Одновременно железнодорожный транспорт освобождается от подвоза топлива к местам погрузки буксиров. Все вспомогательные устройства и механизмы на буксире (насосы, отопление, камбуз) можно также электрифицировать и тем создать более культурные условия работы для команды.

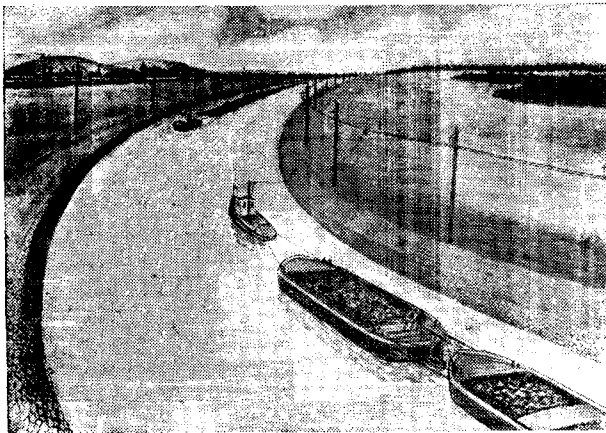


Рис. 1. Общий вид электробуксирной тяги (копия рисунка)

Отсутствие громоздкого оборудования — парового котла и машины — и топлива на буксире значительно уменьшает размеры буксира и его осадку и дает возможность эксплуатировать электротягу при маловодье.

При всех преимуществах электробуксирной тяги она до сих пор не нашла своего применения, что объясняется недостаточной разработкой вопроса о рациональной подаче тока на буксир. Попытки к введению электробуксирной тяги на каналах делались за границей еще в 1905 г. Примененный на

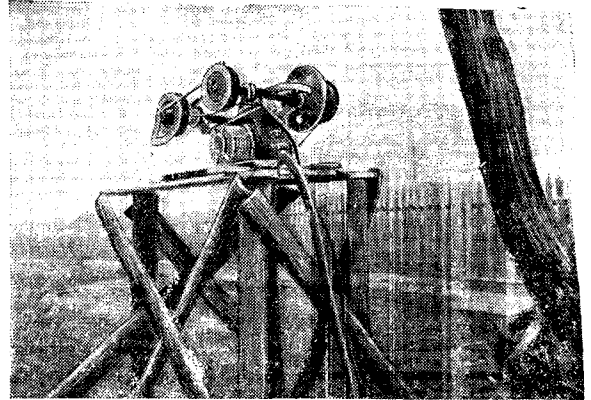


Рис. 2. Самоходная контактная тележка для электробуксирной тяги

Тельтовском канале в Германии способ подачи тока на буксир по троллейбусному типу обладал двумя крупными недостатками: 1) подвеска проводов над каналом затрудняла продвижение по каналу других неэлектрифицированных судов с высокими надстройками (например, землечерпалок и др.); 2) передача тока на буксир при помощи жестких штанг лишала буксир необходимой для него маневренности, так как не позволяла удаляться от контактных проводов.

Таким образом попытка перенести целиком троллейбусное устройство на электробуксир оказалась безрезультатной.

Новая система электробуксирной тяги на каналах была разработана¹ в электротехнической группе Центрального научно-исследовательского института речного флота (ЦНИИРФ). Испытания этой системы дали положительные результаты, что дает право немедленно приступить к электрификации любого канала.

Сущность системы электробуксирной тяги, разработанной ЦНИИРФ, сводится к следующему.

По обоим берегам канала на деревянных опорах прокладывается двухпроводная контактная линия (рис. 1) из голого медного гибкого кабеля, которая получает питание от центральной станции или подстанции. По этим проводам передвигается самоходная контактная тележка (рис. 2), которая передает ток с контактных проводов на буксир при помощи гибкого изолированного кабеля. На электробуксире установлены один или два электродвигателя, по числу его винтов.

Общая схема всей установки дана на рис. 3.

Движение контактной тележки происходит синхронно с движением самого буксира, что достигается совершенно автоматически, благодаря разработанной электрической схеме управления тележкой. Питание двигателя тележки производится от

¹ Под руководством автора.

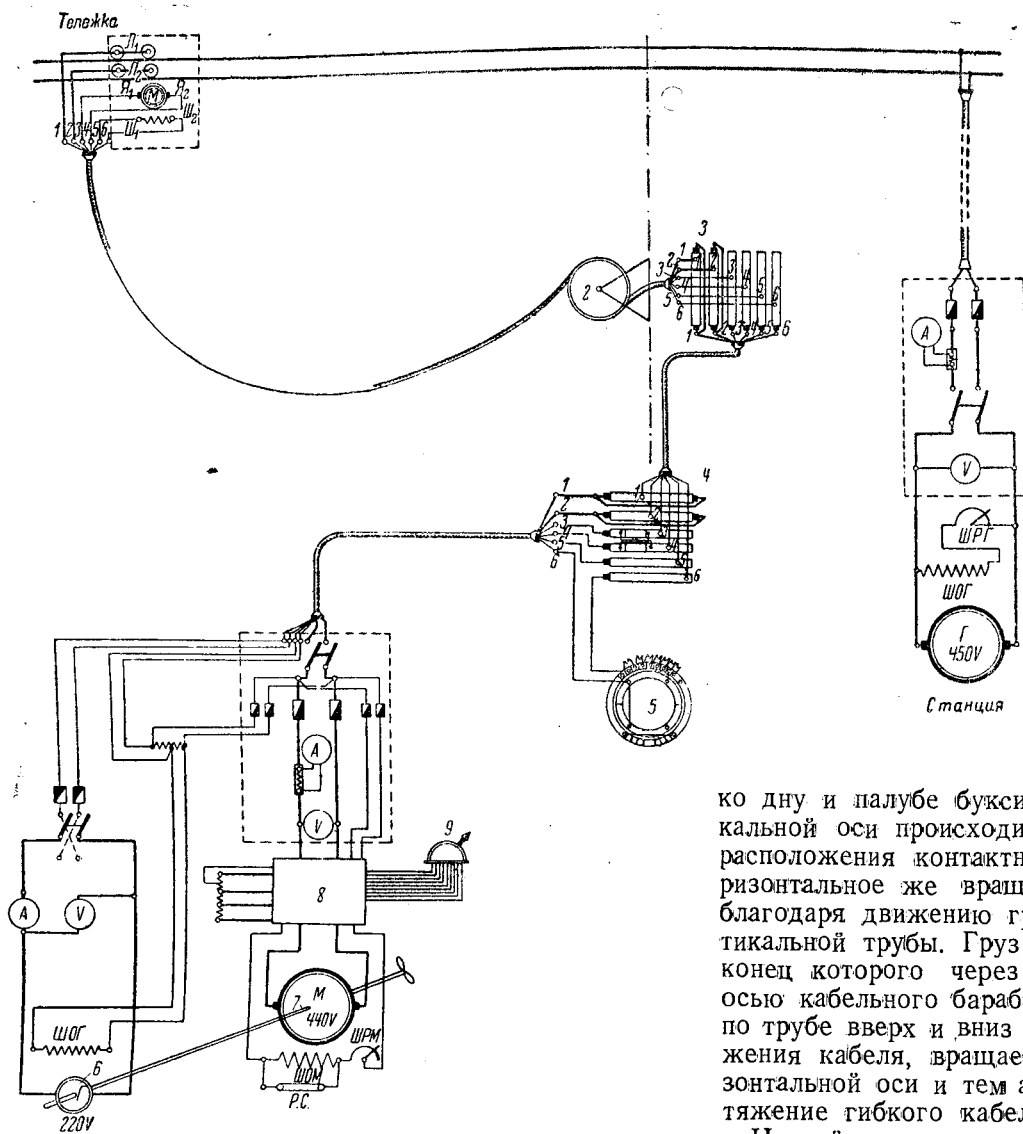


Рис. 3. Общая схема установки:

1 — самоходная [контактная тележка; 2 — кабельный барабан; 3 — горизонтальный токосъемник, установленный на главной оси кабельного барабана; 4 — вертикальный токосъемник, установленный на вертикальной оси барабана; 5 — контактный диск с реостатом, установленный на вертикальной оси барабана (для регулирования возбуждения в цепи двигателя контактной тележки); 6 — генератор питания контактной тележки; 7 — гребной электродвигатель; 8 — контактный щит двигателя; 9 — командо-аппарат (установлен в рулевой рубке)

отдельного генератора, установленного на буксире и приводимого в движение от гребного электродвигателя или вала (рис. 3).

С изменением числа оборотов гребного вала (скорости буксира) изменяется и напряжение генератора, питающего двигатель тележки, и, следовательно, скорость двигателя. Благодаря скольжению винта при различных нагрузках буксира неизбежны были бы нарушения простой пропорциональности между скоростью тележки и буксира. Тележка опередила или отстала бы от буксира. Для сохранения синхронизма между буксиром и контактной тележкой и в данном случае предусмотрен шунтовой реостат в цепи возбуждения двигателя тележки. Реостат автоматически регулируется в зависимости от взаимного положения тележки и буксира.

Для возможности свободного маневрирования буксира гибкий кабель, передающий ток с контактной линии на буксир, наматывается на специальный кабельный барабан, установленный на палубе (рис. 4), который автоматически регулирует натяжение и стрелу провеса кабеля, давая возможность буксиру свободно приближаться или удаляться от берега. Кабельный барабан имеет вращение вокруг двух осей — горизонтальной и вертикальной. Вращающаяся вертикальная труба, на которой укреплен кабельный барабан, входит своим нижним концом в другую неподвижную трубу, закрепленную

ко дну и палубе буксира. Вращение вокруг вертикальной оси происходит при изменении взаимного расположения контактной тележки и буксира. Горизонтальное же вращение барабана достигается благодаря движению груза внутри подвижной вертикальной трубы. Груз подвешен на тросе, другой конец которого через систему блоков связан с осью кабельного барабана. Этот груз, передвигаясь по трубе вверх и вниз при изменении величины натяжения кабеля, вращает барабан вокруг его горизонтальной оси и тем автоматически регулирует натяжение гибкого кабеля и его стрелу провеса.

На той же вертикальной неподвижной трубе закреплен диск от регулировочного реостата тележки, щетка которого укреплена на подвижной трубе. При изменении взаимного расположения между буксиром и контактной тележкой кабельный барабан поворачивается вокруг вертикальной оси и тем самым вводит или выводит сопротивление реостата, изменяя скорость контактной тележки в должном направлении.

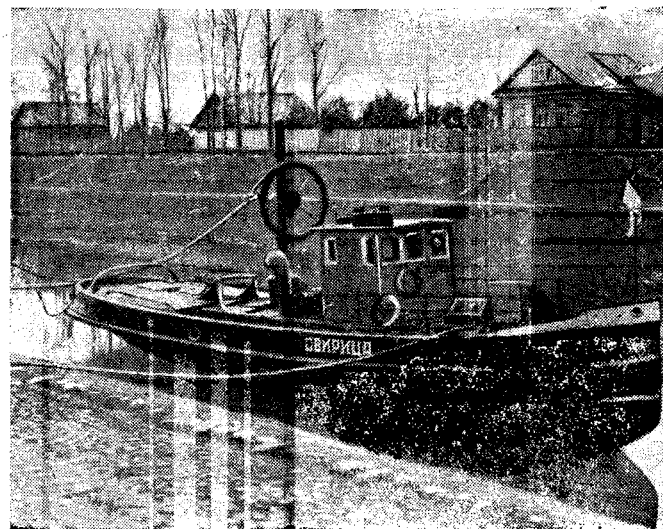


Рис. 4. Буксир с установкой кабельного барабана

Передача тока с кабеля на распределительный контакторный щит, установленный в машинном помещении буксира, производится при помощи вертикального и горизонтального кольцевого токо-съемников, которые насажены на кабельный барабан, на его горизонтальную и вертикальную оси вращения. Управление гребными двигателями производится штурманом из рулевой рубки при помощи небольшого командо-контроллера.

Разработка экономики вопроса применения электробуксирной тяги показала, что, например, для Ладожского канала после его реконструкции при гру-

зопотоке в 9 млн. т и скорости 1,4 м/сек сравнение различных видов тяги дает следующие результаты.

Система тяги	Капиталовложение руб.	Себестоимость перевозок коп.-тонн/км
Паробуксирная	20 500 000	0,42
Электровозная	19 178 000	0,24
Электробуксирная . . .	12 360 000	0,24

К ТЕОРИИ ГАШЕНИЯ ДУГИ

ОТ РЕДАКЦИИ

Ниже помещаются в порядке обсуждения статьи инж. М. М. Акодиса „Об ошибках в изучении процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя“ и д-ра техн. наук, проф. А. Я. Буйлова „Ответ на критику работ ВЭИ в области теории гашения дуги“, а также письма инженеров Ленинградского завода „Электроаппарат“ и научных работников ВЭИ по поводу этих статей.

Для технического прогресса советского высоковольтного аппаратостроения вопросы теории и практики гашения дуги имеют первостепенное значение. Публикуемая дискуссия, касаясь столь актуальной темы, не освещает, однако, с нужной полнотой этих вопросов, что свидетельствует о недостаточной их изученности. Отсюда вытекает задача ВЭИ и лабораторий заводов электроаппаратостроения и энергосистем двинуть вперед дальнейшее изучение вопросов гашения дуги на базе широких экспериментальных исследований и обобщения производственно-эксплуатационного опыта.

Об ошибках в изучении процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя

Инж. М. М. АКОДИС

Донэнерго

Сложность физических явлений, происходящих в высоковольтном выключателе при отключении к. з., ставит разработку удовлетворительной конструкции в сильную зависимость от правильного представления о процессе гашения дуги, возникающей в нем при отключении, чем и объясняется интенсивное изучение этого процесса во всех странах.

Учитывая, что задачи высоковольтного аппаратостроения не смогут быть удовлетворительно разрешены, пока не будет внесена ясность в представления об основных процессах в выключателях, необходимо тщательно исследовать весь комплекс вопросов, связанных с процессом гашения дуги. В настоящей статье ставится лишь задача разобрать ошибочные, по нашему мнению, представления в работах А. Я. Буйлова (ВЭИ) о физической сущности процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя и о расчете скорости восстановления напряжения при трехфазных коротких замыканиях.

Явление восстановления напряжения в простейшей схеме. Простейшая схема к. з. изображена на рис. 1, а. На рис. 2 изображена картина изменения тока и напряжения в элементах этой схемы.

Пока ток проходит по цепи, почти все падение

напряжения сосредоточено на реакторе L (предполагается, что индуктивностью генератора можно пренебречь по сравнению с L), так как напряжение на дуге в современных выключателях мало.

В момент, когда ток достигает нулевого значения, э. д. с. генератора u_2 примерно равна амплитудному значению (рис. 2, а), так как $\cos \varphi$ такой цепи близок к нулю. Пока ток, изменяясь по синусоиде, приближается к нулевому значению, падение напряжения в индуктивности $L = \frac{di}{dt}$ равно амплитудному значению, так как производная синусоиды тока имеет в этот момент максимум.

Напряжение на дуге, равное разности $u_2 - L \frac{di}{dt}$,

остаётся малым. Когда ток достигает нулевого значения, дуга гаснет, следовательно, и после этого момента ток продолжает оставаться равным нулю. Отображением этого состояния в цепи является прямая линия, совпадающая с осью абсцисс (рис. 2, в). Таким образом в момент t_0 наклон кривой тока резко меняется, следовательно, кривая, изображающая ее производную, имеет разрыв в этом месте. Кривая падения напряжения в индуктивности, равная $L \frac{di}{dt}$, также имеет разрыв в этом месте: с максимального значения перед моментом t_0 она падает до нулевого зна-

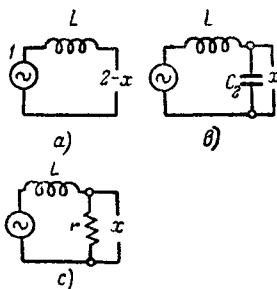


Рис. 1. Простейшие схемы
К. 3.

1 — генератор, 2 — выключатель,
L — реактор, C — емкость, r —
омическое сопротивление

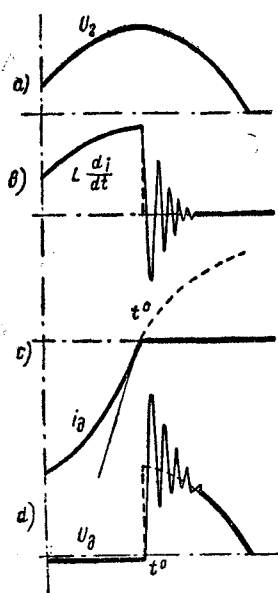


Рис. 2. Токи и напряжения в схе-
мах рис. 1.

a — э. д. с. генератора, б — падение на-
пряжения в индуктивности L, в — ток че-
рез дугу, г — напряжение на дуге

чения в момент t_0 , оставаясь таковой в дальней-
шем (рис. 2, б — жирная линия). В результате
напряжение на дуге, равное $u_2 - L \frac{di}{dt}$, также
резко меняется. Будучи ничтожно малым до мо-
мента t_0 , оно становится равным u_2 после t_0
(рис. 2, г), т. е. после гашения дуги.

В рассматриваемом случае после гашения дуги
напряжение восстановилось мгновенно. В ре-
альных условиях, где, кроме индуктивности, всегда
существует и емкость, процесс протекает иначе.

Благодаря наличию емкости C_2 параллельно
выключателю (рис. 1, б), в которую устремляется
ток после гашения дуги, в момент t_0 не происходит
резкого изменения наклона кривой тока через
самоиндукцию и мгновенного роста напряжения;
лишь по мере заряда конденсатора током, проте-
кающим через индуктивность L, напряжение на
нем растет, постепенно уменьшая скорость нара-
стания тока, обеспечивая постепенность нара-
стания напряжения. Процесс нарастания напряже-
ния на емкости C_2 происходит, как в случае
включения ее на переменное напряжение (когда,
как известно, в момент $t=0$ также все напряже-
ние ложится на индуктивность), и носит колеба-
тельный характер.

Если параллельно дуговому промежутку вместо
емкости C_2 будет включено омическое сопротивле-
ние r (волновое сопротивление линии, остаточ-
ное сопротивление дугового промежутка и т. д.), —
напряжение после гашения дуги также не вос-
становится мгновенно. Возможность протекания
тока через сопротивление r (рис. 1, в) ограничи-
вает скорость изменения наклона кривой тока
после достижения нулевого значения и скорость
нарастания напряжения. В этом случае процесс
нарастания напряжения на сопротивлении проис-
ходит, как при включении сопротивления r на
напряжение u_2 через индуктивность. Процесс,
как известно, носит аperiodический характер.

При наличии омического сопротивления и емко-
сти, в зависимости от соотношения их величин,
процесс восстановления напряжения может быть
как аperiodическим, так и периодическим с демп-
фированными колебаниями. Во всяком случае на-
личие сопротивления параллельно дуге в рас-
смотренных случаях всегда будет снижать ско-
рость восстановления напряжения.

До сих пор мы считали, что в момент достиже-
ния током нулевого значения напряжение на дуге
ничтожно мало, т. е. рассматривали собственную
скорость восстановления сети. Однако для боль-
шинства выключателей напряжение на дуге в мо-
мент приближения тока к нулевому значению
достигает значительной величины („пик гашения“),
и пренебрегать этим напряжением при определе-
нии скорости восстановления напряжения на дан-
ном испытуемом выключателе нельзя. В этом
случае восстановление напряжения обычно начи-
нается не с нулевого значения, а с отрицатель-
ного пика гашения, которого достигло напряже-
ние в момент перемены знака тока через
индуктивность ($i_L=0$). Если дуга шунтирована
только емкостью и гашение дуги ($i_d=0$) совпа-
дает с этим моментом, т. е. остаточная проводим-
ность дугового промежутка пренебрежительно
мала, характер процесса все же остается неизмен-
ным, меняется только амплитуда колебаний. При
восстановлении напряжения, которое, как было
указано, начинается после достижения током,
протекающим через самоиндукцию (i_L) нулевого
значения (перемены полярности), ток противо-
положной полярности должен сначала компен-
сировать накопившийся в емкости заряд и лишь
после этого напряжение на ней может нарастать.
Таким образом напряжение на индуктивности в
момент нулевого значения тока или, что то же са-
мое, величина, на которую должно измениться
напряжение на емкости, равна уже $u_2 + u_d$, где
 u_d — напряжение на дуге в момент перемены по-
лярности тока, протекающего через самоиндукцию.

Расчет скорости восстановления напряжения
сохраняется неизменным, только нужно принимать
амплитуду колебаний вместо U_2 равной $u_2 + u_d$; на-
чинаются же колебания не с нуля, а с отрицатель-
ного пика, так что амплитуда восстановления на-
пряжения может достигать $2u_2 + u_d$.

Иные соотношения получаются в выключателях,
сохраняющих значительную остаточную прово-
димость дугового промежутка, благодаря чему
после нулевого значения тока через дугу проте-
кает ток обратного знака, снижающий скорость
восстановления напряжения. После того, как ток
через самоиндукцию достиг нулевого значения
и изменил свой знак, он начинает перезаряжать
конденсатор с u_d до u_2 . Одновременно конденса-
тор разряжается через проводимость дугового
промежутка. Таким образом до того, как на-
пряжение пересекает нулевую линию, проводимость
дугового промежутка ускоряет восстановление
напряжения и лишь после этого, наоборот, замед-
ляет процесс, как было показано выше. Более

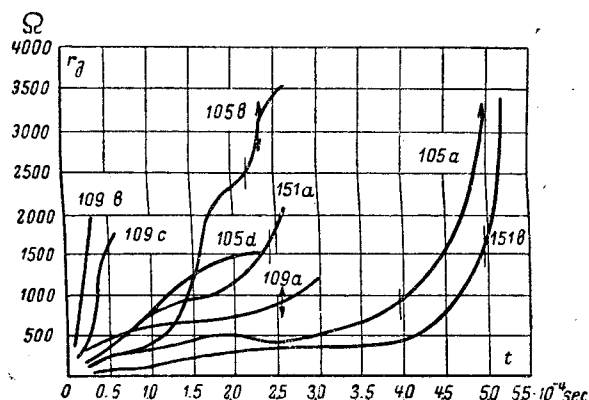


Рис. 3

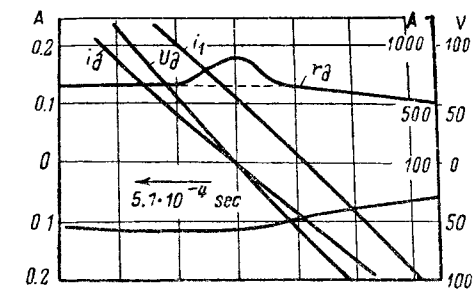
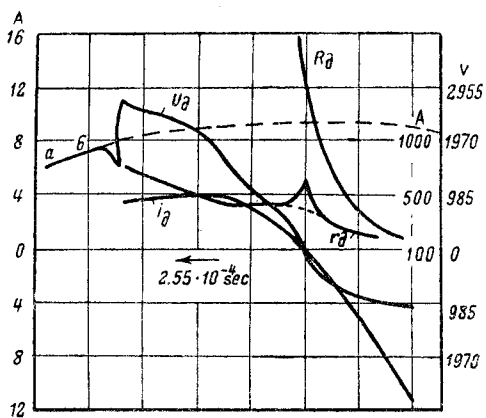


Рис. 4

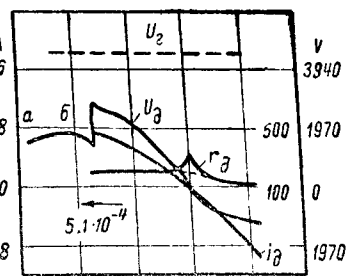


Рис. 6

того, пока заряд с емкости не стечет, т. е. напряжение не достигнет нулевого значения, через дугу продолжает протекать ток неизменной полярности (падение напряжения на дуге $i_d r_d$ сохраняет свой знак). Следовательно, в этом случае ток в дуге и напряжение на ней одновременно достигают нулевого значения и изменяют свой знак. Таким образом в подобных выключателях начало восстановления напряжения, соответствующее нулевому значению тока через самоиндукцию ($i_L = 0$), уже не совпадает с моментом, когда ток в дуге достигает нулевого значения ($i_d = 0$).

Как следует из предыдущего, непосредственной причиной появления восстанавливающегося напряжения является изменение наклона кривой тока, протекающего через самоиндукцию, благодаря чему она перестает уравновешивать э. д. с. (т. е. исчезает противодействующая э. д. с. самоиндукции), вынуждая дуговой промежуток выполнить это. Между тем, этой сути явления восстановления напряжения не понимают некоторые исследователи.

Для расчета скорости восстановления напряжения на выключателе при его испытаниях, очевидно, необходимо определить момент перехода тока самоиндукции через нуль. В выключателях без остаточной проводимости дугового промежутка после наступления нулевого значения тока этот момент примерно совпадает с достижением нуля дугой и с пиком гашения (откуда и название этого пика). Если гашение дуги происходит несколько ранее пика гашения (внезапный обрыв), то по форме кривой обычно можно с достаточной точностью определить момент начала правильной синусоидальной формы восстанавливающегося напряжения (при достаточно большом масштабе осциллограммы); нулевое значение тока, протекающего через самоиндукцию, здесь точно соответствует пику гашения.

Если выключатель сохраняет значительную остаточную проводимость, заметно снижающую скорость восстановления, то момент, когда ток, протекающий через самоиндукцию, достигнет нулевого значения, трудно определить, так как он уже не совпадает с пиком напряжения и нулевым значением тока в дуге и приближается к моменту нуля напряжения. Метод определения момента начала восстановления напряжения для этого случая (пригодный и для предыдущих) будет дан ниже.

Очевидно, без правильных представлений об этих основах явления гашения дуги невозможны правильные испытания и, следовательно, конструирование и выбор гасящих устройств.

Рис. 5

Рассмотренным положением была посвящена работа, сделанная А. Я. Буйловым в ВЭИ в 1934 г. [1, 2]. Повторяя в очень малом объеме опыты Van Sickle [3] — по исследованию остаточной проводимости дугового промежутка после достижения током нулевого значения — над гасящими устройствами, у которых эта проводимость очень велика (при 40—60 А и 6 кВ, открытая дуга в воздухе, масляный выключатель с простым разрывом, фибровые и асбестовые предохранители), автор производит расчет скорости восстановления напряжения. За начало процесса им принят момент наибольшего пика напряжения дуги. Как следует из вышеизложенного, это говорит о неправильном понимании явления. Рассматривая при выводе формулы процесс восстановления напряжения, А. Я. Буйлов указывает, что начало процесса соответствует моменту перемены знака тока в дуге (т. е. его нулевому значению), и что ток, протекающий через самоиндукцию, в этот момент равен нулю. А. Я. Буйлов делает предположение, что в этот момент достигается наибольшее напряжение на дуге (стр. 481). Невозможность этого нами доказана выше. Впрочем, вслед за этим, определяя начальные условия, А. Я. Буйлов указывает, что при $t=0$ ток в дуге $i_d = \frac{u_d}{r_d}$, что верно, но противоречит предыдущим заявлениям, сделанным несколькими строками раньше.

Несостоятельность расчетов автора хорошо иллюстрируют приводимые им кривые нарастания сопротивления дугового промежутка, воспроизведенные нами на рис. 3. Как видно, время от момента нулевого значения тока (по А. Я. Буйлову — совпадающего с максимумом напряжения дуги) до перехода восстанавливающегося напряжения через нуль, обозначенного на рисунке отрезком вертикальной прямой, пересекающим кривую, достигает 400—500 μsec , и большую часть этого времени сопротивление дугового промежутка не превышает 500 Ω . Если учесть, что для опытов 105 (а, б, д, рис. 3) $C = 9000 \text{ cm}$ и первые 25 μsec сопротивление дуги (по данным А. Я. Буйлова) не превышало 250 Ω , получим, что время до перехода напряжения через нулевую линию не могло превысить 7,5 μsec (а в опыте 105, а даже 4 μsec) вместо указанных 390 μsec , т. е. оно в действительности в пятьдесят раз меньше, даже при полном пренебрежении током, протекающим через самоиндукцию и подающим заряд, противоположный имеющемуся в конденсаторе (учитывая только разряд емкости через сопротивление дугового промежутка).

В первую очередь такая ошибка объясняется тем, что за момент начала восстановления напряжения неправильно взят пик напряжения на дуге. В действительности восстановление напряжения

в этих опытах, очевидно, начинается на десятки и даже на сотни микросекунд позже, причем этот момент неизвестен. Но и помимо этого, необходимо отметить, что основные формулы (2), выводимые А. Я. Буйловым для включения цепи на постоянное напряжение, справедливы лишь в том случае, если собственная частота цепи велика по сравнению с промышленной. Для опытов А. Я. Буйлова, где собственная частота достигала нескольких сот периодов в секунду, она не применима; ее необходимо выводить из условий включения на переменное напряжение. Тем более недопустимо за напряжение, на которое включается схема, принимать амплитуду напряжения генератора вместо действительного мгновенного значения.

Формула (2) выведена А. Я. Буйловым для $r_d = \text{const}$, а потом в полном противоречии с этим исходным условием из этой формулы определяется $r_d = F(t)$. При определении первой точки кривой r_d (среднего значения) формулой (15) еще можно было бы пользоваться при $\omega_0 \gg 50$. Но для вычисления последующих точек (r_{d2}, r_{d3}) ею пользоваться нельзя, так как напряжение u_d , входящее в формулу, получено при условии, что сопротивление дуги с самого начала равнялось данному постоянному значению. Между тем большую зависимость u_d от величины r_d А. Я. Буйлов многократно подчеркивает сам.

Как следует из изложенного, рассмотренный метод определения r_d совершенно неприменим. Между тем, определение сопротивления дуги, имеющее большое значение для анализа работы выключателя, может быть произведено очень просто.

Пользуясь тем, что омическое сопротивление „закороченной“ цепи мало, а вблизи нулевого значения тока падение напряжения в нем (i_d) совершенно ничтожно, для одночастотной схемы получим:

$$u_2 - L \frac{di_L}{dt} = u_d$$

или

$$\frac{u_2 - u_d}{L} = \frac{di_L}{dt}. \quad (1)$$

Напряжение на выключателе u_d для любого момента времени можно найти из катодной осциллограммы; u_2 в любой момент известно (фаза его может быть определена из шлейфовой осциллограммы, правильно записывающей пятидесятипериодное напряжение, или из катодной осциллограммы, при достаточной длине записи). Эти данные позволяют построить кривую тока, протекающего через самоиндукцию. Для этого необходимо предварительно построить кривую тока через емкость ($i_c = C \frac{du_d}{dt}$) при $t=0$, $i_d = \frac{u_d}{r_d} = 0$, следовательно, в этот момент $i_c = i_L$. Поэтому можно, начиная с этого значения ($i_L = i_c$), построить по формуле (1) ток i_L в обе стороны, а следовательно, и воспроизвести кривые $i_d = i_L - i_c$ и $r_d = \frac{u_d}{i_d}$.

Таким образом, пользуясь катодной осциллограммой, можно получить ток и сопротивление дугового промежутка до и после перехода напряжения через нуль. Очевидно, этот метод одинаково пригоден как для выключателей, сохраняющих большую остаточную проводимость после достижения нуля током дуги, так и для неимею-

щих ее вовсе. В последнем случае ток через самоиндукцию $i_L = \frac{1}{L} \int (u_2 - u_d) dt$ будет равен току через емкость ($i_c = C \frac{du_d}{dt}$) с момента достижения током дуги нулевого значения. Изложенный метод может быть применен для любого перехода тока через нуль, вне зависимости от того, гаснет ли дуга или продолжает гореть.

На рис. 4 приведены построенные подобным образом кривые i_c, i_L, i_d, r_d для осциллограммы рис. 15 статьи А. Я. Буйлова, снятой для случая гашения дуги в открытом воздухе. Там же нанесена кривая R_d , подсчитанная А. Я. Буйловым [1, рис. 14]. Вряд ли эта кривая нуждается в комментариях — несоответствие ее действительности явное. Как видно из рис. 4, в принятом масштабе момент начала восстановления напряжения даже совпадает с переходом напряжения через нуль. На рис. 5, где масштаб времени увеличен приблизительно в 50 раз, видно, что разница между этими моментами равна 11 мс (для 6 кВ достаточно большая величина), т. е. в этом случае она в сто раз меньше, чем полученная А. Я. Буйловым.

Необходимо отметить, что построение выполнено в предположении, что дуга действительно была погашена в этот полупериод, как это предполагает А. Я. Буйлов. Следовательно, точки a и b лежат на синусоиде напряжения генератора после отключения к. з., легко воспроизводимой по имеющемуся отрезку.

Как видно из рис. 4, в этом случае амплитуда напряжения при частоте 50 Hz равна всего лишь 2300 V (вместо $5400 = 6600 \frac{\sqrt{2}}{3}$). Ток для этого

опыта не был указан и поэтому была принята индуктивность 0,25 мН — величина, принимаемая А. Я. Буйловым за предельное значение для его опытов. При данном напряжении это соответствует току к. з. примерно 20 A_{eff}. А. Я. Буйлов указывает, что в его опытах ток колебался в пределах 40—60 A. Следовательно, в действительности $u_2 - u_d$ и ток i_d был по крайней мере в два раза больше, а сопротивление r_d в два раза меньше, так что время τ вряд ли превышало 5—6 мс (рис. 6), т. е. оно было в 200—250 раз меньше полученного А. Я. Буйловым!

Но, к сожалению, рассматриваемая осциллограмма вообще не показывает гашения дуги. Даже на рис. 4 ток уже достигает около 4 A, — 20% от полного тока к. з., продолжая несколько нарастать. Это показывает, что в этот полупериод гашение дуги вовсе не произошло: сразу после перехода через нуль начал нарастать ток к. з. противоположной полярности, следовательно, между точками a и b кривая также изображает напряжение на горячей дуге, а не напряжение холостого хода генератора после отключения к. з. Так как фаза синусоиды промышленной частоты неизвестна, правильное построение невозможно. На рис. 6 построение выполнено в предположении, что напряжение генератора все время равно постоянной величине 4600 V, что заведомо меньше действительного в продолжение рассматриваемого периода. В момент t_1 ток здесь уже достигает 8 A (20% от максимального), продолжая еще длительно нарастать. Вообще осциллограмма характерна для горячей открытой дуги для одного или нескольких полупериодов до гашения, когда сопротивление вблизи нуля тока несколько воз-

растает. Что она показывает продолжение дуги, в этом можно убедиться по внешнему ее виду (напряжение мало, резкий пик восстанавливающегося напряжения для гашения при апериодическом процессе). „Горб“ на кривых r_d вблизи нулевого значения тока (рис. 4, 5, 6), повидимому, объясняется слишком малым масштабом осциллограммы; в этих точках, где u_d и i_d очень малы, малейшая неточность в определении i_d заметно сказывается на r_d .

В довершение ко всему следует еще отметить, что при такой ничтожной частоте (для этой осциллограммы 200 Hz) и скорости записи катодного осциллографа, какая применялась, все явления с успехом могли быть записаны на шлейфовом осциллографе (скорость бумаги может быть даже больше), где ток, напряжение и фаза их могли бы быть легко записаны. Впрочем, и при высоких частотах с большой скоростью записи катодного осциллографа тоже необходимо снимать одновременно для каждого опыта шлейфовые осциллограммы, чего А. Я. Буйлов не делал ни в этой ни в других работах [4].

Рассмотренный выше метод построения i_d и r_d может быть применен и для многочастотной схемы, однако в этом случае вместо u_2 необходимо определить напряжение до реактора, которое также должно сниматься катодным осциллографом (необходим двухлучевой осциллограф). Этот метод, повидимому, дает лучшие результаты, чем непосредственная запись тока даже тиритовым шунтом, по крайней мере для средних напряжений (соизмеримых с напряжением на пластине осциллографа), так как за несколько μ sec до и после момента, соответствующего нулевому значению, ток в 500—600 раз меньше амплитудного значения. О применимости металлических шунтов (как это делал А. Я. Буйлов) не может быть и речи.

Неправильно построена и кривая напряжения [7, рис. 18], вычисленная инж. Буйловым для опыта Van Sickle и нанесенная на осциллограмме опытов Буйлова. Как уже указывалось, основные уравнения, из которых А. Я. Буйлов выводит формулы (2) и (3), соответствуют началу процесса, моменту, когда ток, протекающий через самоиндукцию, $i_L = 0$. Не отдавая себе отчета и в этом, он строит кривую u_c [7, рис. 18], считая, что $t = 0$ соответствует моменту появления i_c . Необходимо отметить что эти неверные построения сделаны через два года после того, как Van Sickle опубликовал подобную работу, в которой он совершенно правильно определяет и высчитывает те же характеристики, пользуясь, повидимому, методом, аналогичным описанному, хотя и не показывает этого достаточно четко и не приводит доказательств применимости метода. Пренебрежение А. Я. Буйлова к вычислениям тока Van Sickle, мотивируемое тем, что в основу его положена шлейфовая осциллограмма, свидетельствует о непонимании им принципа построения.

Остановимся еще на одной детали работы А. Я. Буйлова. Получив формулу для определения собственной частоты восстанавливающегося напряжения, Буйлов затем заявляет, что во всех опытах собственная частота хорошо совпадает с теоретической, получаемой при пренебрежении остаточной проводимостью дуги, в то время как скорость восстановления напряжения резко отличается от теоретической. Прежде всего отметим,

что если частота не отличается от теоретической, то и скорость восстановления напряжения может отличаться от теоретической только за счет того, что амплитуда восстановленного напряжения не достигает удвоенного значения и за счет пика гашения. Из приведенных осциллограмм видно, что подъем напряжения перед гашением не больше, чем превышение высокочастотного восстанавливающегося напряжения над пятидесятипериодным; до нулевого значения напряжения, как было нами показано, проводимость дуги лишь ускоряет процесс восстановления. Поэтому отличие скорости восстановления напряжения в опыте от теоретической скорости не могло больше чем в два раза превысить отличие частот. Далее, из приводимой А. Я. Буйловым формулы (3) следует, что частота зависит от сопротивления дуги. Наблюдавшееся несоответствие объясняется в первую очередь неправильным определением начала процесса восстановления напряжения, соответствующего нулевому значению тока, протекающего через самоиндукцию.

В заключение этой части статьи укажем, что приводимое на стр. 51 [1] доказательство того, что время достижения максимума напряжения равно полупериоду собственных колебаний, также при сохранении *значительной проводимости дугового промежутка* выведено из уравнения (5), справедливого *лишь при отсутствии остаточной проводимости*. Это — явная неувязка. Совершенно очевидно, что нужно было исходить из уравнения (2), а не (5).

Расчет скорости восстановления напряжения при трехфазных к. з. Вопрос о величинах скорости восстановления напряжения, при которой выключатель обязан надежно отключать к. з., еще вызывает споры, но необходимость рассчитывать эту скорость как для испытательных установок, так и для сетей ни у кого не вызывает сомнений. Между тем в методике этого расчета иногда допускаются принципиальные ошибки. Это положение — ошибочность методики ВЭИ [5] — будет нами в данном случае обосновано для простых трехфазных схем к. з., имеющих, как известно, наибольшее практическое значение.

Прежде всего для пояснения картины происходящих явлений рассмотрим протекание процесса восстановления напряжения в схеме рис. 7. В этом случае ток неполностью отключается. После достижения током дуги нулевого значения начнется протекание тока через индуктивность L_2 . До момента t_0 ток в цепи ограничивался индуктивностью L_1 , после t_0 — индуктивностями $L_1 + L_2$, и величина его уменьшится. Таким образом в момент t_0 мгновенно меняется наклон синусоиды тока (ее производная), следовательно, напряжение на дуге также мгновенно изменится. Подсчет изменения тока и его производной элементарно прост и показывает, что напряжение на дуге в момент t_0 достигает своей амплитуды $U' = U \frac{L_2}{L_1 + L_2}$, в дальнейшем изменяясь по синусоиде промышленной частоты.

Если параллельно индуктивности L_2 будет присоединена емкость или сопротивление, восстановление напряжения будет происходить постепенно, и U' будет соответствовать установившемуся напряжению.

Аналогичный характер явлений имеет место при отключении первой фазы трехфазного к. з. Сна-

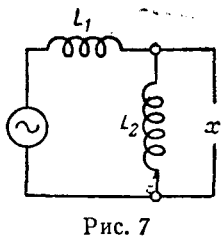


Рис. 7

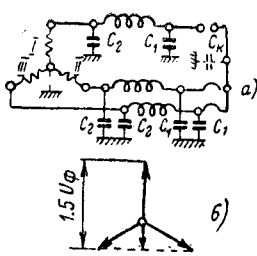


Рис. 8. Схема трехфазного к. з. и векторная диаграмма напряжений для момента $t_1 = 0$

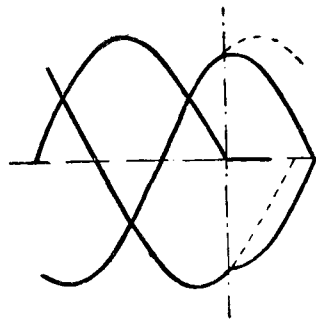


Рис. 9. Изменение токов при отключении фазы I в случае трехфазного к. з.

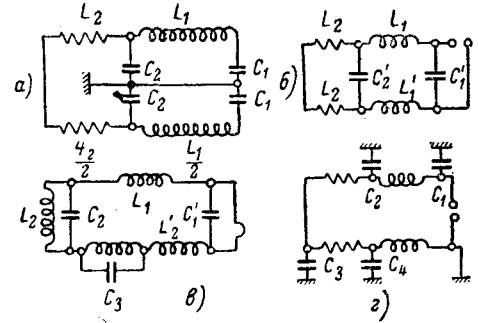


Рис. 10. Эквивалентные схемы для расчета восстанавливающегося напряжения в первой отключающейся фазе при трехфазных к. з.

чала рассмотрим трехфазное к. з. без земли в сети с глухо заземленной нейтралью (рис. 8, а). В фазе I (рис. 8, а) ток полностью обрывается. Тангенс угла наклона синусоиды тока и падение напряжения в этот момент равны нулю, на дуге восстанавливается напряжение генератора, как это видно из векторной диаграммы (рис. 8, б).

В фазах II и III ток продолжает течь. Однако скорость его нарастания в этих фазах, после гашения дуги в первой, изменяется. Токи в каждой из фаз равны в этот момент $I_0 \frac{\sqrt{3}}{2}$ и противоположны по знаку. После отключения первой фазы к. з. превратится в двухфазное, и максимальное значение тока к. з., определяемое уже линейным напряжением и сопротивлением двух обмоток, будет:

$$I'_0 = I_0 \frac{U_\lambda}{U_{\phi_2}} = I_0 \frac{\sqrt{3}}{2},$$

т. е. будет равно как раз достигнутому мгновенному значению его; следовательно, этот момент будет соответствовать уже максимуму новой кривой тока. Таким образом в этот момент меняется фазный угол тока, как это видно из рис. 9.

В кривой тока появился перелом, следовательно, ему в производной будет соответствовать разрыв в этой точке, т. е. изменится падение напряжения $L \frac{di}{dt}$ в самоиндукции. Как легко подсчитать, до момента t_0 падение напряжения равнялось половине амплитудного значения напряжения, иначе говоря, падение напряжения равно как раз мгновенному значению э. д. с. в этот момент (рис. 8, б). Следовательно, напряжение на C_2 , равное их разности, равнялось нулю. После t_0 падение напряжения на самоиндукции должно равняться нулю — значению производной синусоиды в момент максимума, и на дуге должно восстановиться мгновенное напряжение генератора, равное $\frac{U_m}{2}$ (во второй и третьей фазе — рис. 8, б). Таким образом на стороне выключателя, соединенного с первой фазой, восстанавливающееся напряжение промышленной частоты равно фазовому, а на стороне, соединенной со второй и третьей фазой, — половине фазового с обратным знаком.

Все три фазы идентичны и, очевидно, высокочастотные процессы в них протекают одинаково. Поэтому:

1) Соединение фаз II и III в параллель в точках а, б не влияет на процесс в каждой из них. Фазы можно вовсе объединить, включая в парал-

лель все элементы, как это и делается обычно (рис. 10, а).

2) Расчет можно проводить по однофазной схеме, принимая для фазы I коэффициент 1, а для фаз II и III — 1,5. Токи и напряжения связаны линейной зависимостью и, очевидно, сумма токов однородных точек фаз II и III равна току первой фазы с обратным знаком, а в нейтрали генератора, как и в заземляющем нейтраль проводнике, сумма токов равна нулю. Отсюда можно сделать важное заключение: при разземленной нейтрали, или заземленной наглухо или же через любое сопротивление, процесс протекает совершенно идентично, скорость восстановления одинаковая, если место к. з. не заземлено.

Независимость процесса восстановления напряжения на каждой стороне выключаемой фазы I, при сохранении нулевого потенциала на нейтрали генератора, является весьма важным фактором. В выключателях, имеющих больше одного разрыва на фазу, при приложении напряжения, с одной стороны, и нулевом потенциале, с другой, оно, обычно, распределяется неравномерно между разрывами.

В баковых выключателях, пока еще являющихся у нас основным типом, 90% приложенного напряжения может падать на первый из двух разрывов. Как следует из вышеизложенного, при трехфазном к. з. в сети с глухо заземленной нейтралью, даже в выключателе со столь неравномерным распределением напряжения, на один разрыв придется только 64% полного напряжения, так как 90% напряжения, восстанавливающегося на каждой стороне, будет приходиться на ближайший к этой стороне разрыв. Это обстоятельство часто упускается из виду, когда при переходе на малообъемные выключатели считают, что один разрыв с тем же гасящим устройством обеспечит, примерно, такие же дугогасящие свойства, как два разрыва в баковом выключателе.

Обычно при отключении фазы I трехфазного к. з. параллельно емкости C_1 в фазах, через которые ток еще протекает, имеется еще емкость отключаемого участка C_k . Таким образом расчетные схемы для обеих сторон уже оказываются неодинаковыми. Если емкость C_k мала по сравнению с емкостью генератора C_2 (которая обычно очень велика), независимость расчета двухчастотной схемы каждой стороны выключателя сохраняется, только параметры их, следовательно, и частоты, уже будут неодинаковы. Если C_k относительно велико, тогда независимость расчета двухчастотной схемы каждой стороны сохраняется только для сети с глухо заземленной нейтралью; при изо-

лированной нейтрали потенциал ее изменяется и расчет сильно усложняется.

Непонимание этих процессов А. Я. Буйловым привело к искажению им всей картины явлений, и к неправильной методике расчета восстанавливающегося напряжения при трехфазном к. з. [5].

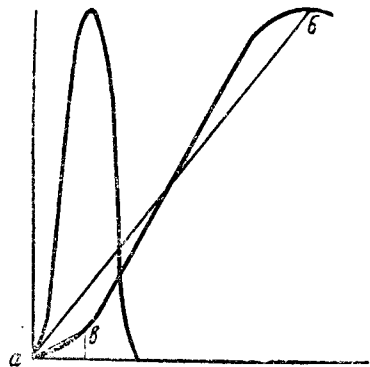


Рис. 11

Рассматривая трехфазное к. з. без земли в сети с изолированной нейтралью, А. Я. Буйлов сводит эквивалентную схему для этого случая к изображенной на рис. 10, б, вместо схемы а, которой она в действительности эквивалентна. Хотя результаты расчета здесь (при неучете C_k) получаются одинаковыми, — физическая картина явления неверна. Какое напряжение восстанавливается на каждой стороне выключателя (что, как указывалось, весьма важно), — при методике А. Я. Буйлова уже невозможно определить. Учесть емкость C_k , способную иногда существенно изменить весь процесс, нельзя. Но уже совсем непригодную эквивалентную схему дает А. Я. Буйлов для трехфазного к. з. без земли в сети с заземленной нейтралью. Схема, по его мнению, отличается уже от предыдущей и превращается в трехчастотную (рис. 10, в). Между тем, как уже указывалось, при отсутствии емкости C_k (которую А. Я. Буйлов вообще не учитывает) этот вид к. з. полностью идентичен предыдущему, при наличии же C_k схема всегда состоит из двух независимых двухчастотных с разными параметрами.

Еще ошибочнее расчет трехфазного к. з. с землей в сети с изолированной нейтралью (рис. 10, г). В этом случае, по мнению А. Я. Буйлова, расчетная схема получается такой же, как на рис. 10, б, только $C_2' = \frac{3}{2} C_2$. Между тем именно для этого случая схема в корне отличается не только от схемы 10, б, но и от 4, а, и явление протекает совершенно по-иному.

Так как после гашения дуги в первой фазе две другие остаются заземленными в месте к. з., потенциал их остается все время равным нулю. Следовательно, все напряжение восстанавливается только с одной стороны выключателя, и напряжение на нейтрали генератора (установившееся) повышается до половины напряжения фазы I. Так как конец реактора, соединенный с выключателем, и емкость C_2 фаз II и III остаются заземленными, напряжение на этих фазах возрастает в этой схеме на противоположном конце реактора и генератора (оно увеличивается от точки к. з. к нейтрали, а не наоборот, как в схеме рис. 10, а). Благодаря этому, сосредоточенная емкость C_2 фаз II и III уже относится к реакторному контуру, а не к генераторному. Так как в действительности емкость C_2 складывается из двух: эквивалентной емкости генератора, распределенной вдоль обмотки, и емкости соединительных элементов, необходимо ее разделить. Емкость соединительных элементов относится к реакторному контуру, сюда же включается величина, эквивалентная емкости реактора, распределенной вдоль его обмотки,

ранее входившая в C_1 . Величина, эквивалентная распределенной емкости генератора для фаз II и III, переносится в нейтраль, так как заряд элементарных емкостей возрастает от линейного конца к нейтрали. Параметры фазы I — те же. В результате, схема превращается в одну четырехчастотную, расчет которой уже несравненно сложнее, чем двухчастотной. Лишь в том случае, если C_1 очень мало по сравнению с C_2 и скорость восстановления напряжения определяется почти исключительно L_1, C_1 , расчет можно проводить по простейшей одночастотной схеме.

Метод расчета скорости восстановления напряжения для двухчастотной, и вообще многочастотной, схемы, рекомендуемый А. Я. Буйловым, также непригоден. В ограниченном числе случаев можно приближенно определять скорость восстановления напряжения, считая оба контура независимыми¹. Однако и в этих случаях рекомендуемое А. Я. Буйловым определение суммарной скорости, как суммы средних скоростей, обусловленные каждой частотой:

$$\frac{dU_z}{dt} = 4(F_1 E_{r_1} + F_2 E_{r_2} + F_3 E_{r_3} + \dots), \quad (2)$$

нельзя производить. Считать оба контура независимыми можно, лишь когда обе частоты сильно разнятся. В этом случае скорость восстановления напряжения определяется моментом достижения максимума синусоиды большей частоты. За это время скорость восстановления напряжения, определенная второй частотой, будет гораздо меньше ее средней, как это видно из сравнения прямых ab и av (рис. 11); для третьей частоты отклонение от среднего значения еще значительнее. Необходимо пользоваться формулой:

$$\frac{du_{\partial}}{dt} = \frac{U_m F_1}{L_1 + L_2} \left\{ 4,55 L_2 + 2,85 L_2 \left[1 - \cos \left(\frac{F_2}{F_1} 133^\circ \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

как это обычно делается, а не формулой (1).

Указание А. Я. Буйлова о целесообразности принимать $A=4$ вместо 4,55 для того, чтобы компенсировать затухание, также неприменимо. Как он сам указывает, затухание в зависимости от типа гасящего устройства и условий опыта может быть самым разнообразным, следовательно, для каждого опыта оно должно определяться из осциллограммы. При расчете же собственной скорости восстановления напряжения сети затуханием можно пренебречь.

Произведенный нами критический разбор указанных работ А. Я. Буйлова свидетельствует о неправильной трактовке А. Я. Буйловым физических явлений, связанных с процессом и с расчетом скорости восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя.

Литература

1. А. Я. Буйлов. „Электричество“ № 1, 1936.
2. А. Я. Буйлов. Труды первого Всесоюзного совещания по высоковольтной аппаратуре. Ленинград, изд. ВНИТОЭ, 1938.
3. Van Sickle. Trans. of AIEE № 4, 1933.
4. А. Я. Буйлов. „Электричество“ № 3 и № 12, 1939.
5. А. Я. Буйлов. Выключатели переменного тока высокого напряжения, ОНТИ, стр. 85, 1936. Книга рекомендована в качестве учебного пособия для студентов втузов.

¹ Для расчета ее можно использовать решение, данное Л. Е. Машкилейсоном. — О восстановлении напряжения на контактах. Сборник „Высоковольтное аппаратостроение“ изд. ОНТИ, 1935.

Ответ на критику работ ВЭИ в области теории гашения дуги

Д-р техн. наук, проф. А. Я. БУЙЛОВ
Всесоюзный электротехнический институт

В статье «Об ошибках в изучении процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя» М. М. Акодис вновь критикует мои работы в ВЭИ по теории и экспериментальным исследованиям гашения дуги.

В первой части статьи, содержащей давно известные истины, М. М. Акодис пишет: «...непосредственной причиной появления восстанавливающегося напряжения является изменение наклона кривой тока, протекающего через самоиндукцию, благодаря чему она перестает уравнивать э. д. с. (т. е. исчезает противодействующая э. д. с. самоиндукции), вынуждая дуговой промежуток выполнить это. Между тем этой сути явления восстановления напряжения не понимают некоторые исследователи.

Мимо такой формулировки пройти нельзя. Действительно — «не понимают», так как понимать так, — это значит путать причину со следствием. По М. М. Акодису получается, что не процессы в дуговом промежутке являются причиной изменения тока, не напряжение на дуговом промежутке заставляет меняться ток в цепи, а наоборот, — явная несообразность.

Следует заметить, что критике подвергнуты старые работы, в основном 1935 г., и даже 1934 и 1933 годов. За эти годы техника ушла довольно далеко вперед и критиковать работы такой давности на базе современных представлений довольно просто. Однако все же М. М. Акодис не справился с подобной задачей.

Прежде всего отметим, что мы не повторили в очень малом объеме опыты Van Sickle, а произвели огромное количество опытов (много тысяч) по сравнению с единичными опытами Van Sickle по значительно более расширенной программе и с более высоким результатом. Ценность опытов Van Sickle та, что он производил их при больших мощностях, чего мы сделать не могли. Но мы на значительно более широкой основе доказали взаимное влияние цепи и дугового промежутка. Кроме того, мы доказали неоднозначность влияния емкости на процесс гашения и большую длительность процесса деионизации. Теперь эти факты признаны всеми, а ведь года 2—3 тому назад было много противников этой теории и в их числе М. М. Акодис. Еще на совещании по высоковольтному аппаратостроению 1937 г. в Ленинграде [1] М. М. Акодис проповедывал «теорию масляной пленки», против которой мы возражали. Она противоречила теории проводимости дугового промежутка и теперь окончательно отвергнута.

Далее в статье М. М. Акодис указывает, что за начало процесса нельзя принимать момент наибольшего пика гашения, однако к какому же моменту надо относить начало процесса, он не указывает; но дело не в выборе момента отсчета времени. За начало процесса можно принять любой момент времени (чаще всего его принимают совпадающим с моментом пика тока). Необходимо лишь при решении уравнений правильно выбрать начальные условия в соответствии с принятым началом отсчета времени, но они не всегда известны. Начальные

условия при решении процесса восстановления напряжения выбираются приближенно, и можно сейчас лишь спорить о преимуществе тех или иных начальных условий, но доказать что-либо пока что невозможно. Этого М. М. Акодис, видимо, не понимает. И адресованный мне упрек в данном случае необоснован.

Еще в начале 1935 г. я писал о неопределенности этих начальных условий [2] и указал для апериодического процесса подобие формул при любых начальных условиях.

М. М. Акодис считает, что принятые мной начальные условия противоречивы. Здесь он базируется на моей описке: на стр. 48 моей статьи [3] следует читать не «перемены знака тока в дуге», а перемены знака в самоиндукции. Это ясно всякому читателю, так как строчкой ниже я считаю общий ток (в самоиндукции) $i = 0$, а ток в дуге в этот момент равен $\frac{UBm}{r_B}$.

Далее в статье разбираются кривые роста сопротивления дугового промежутка, вычисленные для апериодического процесса по формуле, полученной мной при некоторых допущениях. Прежде всего М. М. Акодис указывает, что время, прошедшее между моментом пика гашения (принятым мною за нуль времени) и моментом нуля напряжения на дуге, не согласуется со временем разряда емкости на сопротивление дугового промежутка. Но почему это время должно равняться времени разряда емкости на дуговой промежуток? Повидимому, только в силу непонимания М. М. Акодисом процесса восстановления напряжения. Ток в дуге за время стационарного процесса отнюдь не равен току в емкости и ток в емкости отнюдь не обусловлен только напряжением на ней и сопротивлением дугового промежутка. М. М. Акодис, видимо, ошибочно отождествляет процесс восстановления напряжения с процессом разряда емкости на промежуток, исследованный нами [4] в 1935—1936 гг. Из кривых Van Sickle (одна из них приведена мною [3]) совершенно ясно видно, что ток в дуге далеко не равен току в емкости, шунтирующей выключатель. Впрочем, это очевидно и без экспериментальных данных.

М. М. Акодис меня упрекает в том, что при столь низких частотах собственных колебаний (сотни и тысячи герц) нельзя считать э. д. с. источника тока постоянной. Прежде всего отмечу, что неправильно связывать допустимость предположения о постоянстве э. д. с. собственной частотой сети. Можно при любых собственных частотах считать э. д. с. источника тока постоянной величиной, если только время, в продолжение которого анализируется процесс, достаточно мало. Мы провели анализ явления длительностью $0,001 + 0,0015$ сек ($9 \div 14$ электрических градусов). Если принять значение э. д. с. источника тока в начале процесса за единицу и $\cos \varphi$ близким к нулю, то через 15° амплитуда э. д. с. будет $0,966$, т. е. на $3,4\%$ меньше единицы. Очевидно, столь малое изменение э. д. с. не внесет заметной ошибки.

М. М. Акодис считает неверной и неприменимой формулу (2).

Формула (2), конечно, является лишь некоторым приближением к действительности, так как при выводе принято $r_B = \text{const}$, в то время как одной из основных целей моей работы было исследование изменения сопротивления дугового промежутка. Условие $r_B = \text{const}$ принято лишь потому, что даже при самой упрощенной зависимости r_B от времени (например, $r_B = t$) уравнения неразрешимы. Я хотел возможным (в то время) способом все же учесть влияние сопротивления дугового промежутка на аналитическое выражение восстанавливающегося напряжения. И это мне удалось лучше, чем можно было бы ожидать. Действительно, рис. 18 моей статьи [3] показывает, что пользование моей формулой, если понимать под r_B среднее значение сопротивления дугового промежутка за рассматриваемый отрезок времени, дает результаты, довольно близкие к действительным, и во всяком случае неизмеримо более правильные величины, чем при условии бесконечно большого сопротивления дугового промежутка.

Примерно то же можно сказать и о моих кривых $r_B = f(t)$. Они вычислены, как для аperiodического процесса, при условии $a_1 \ll a_2$ [3, стр. 52]. Пока это условие действительно, моя формула (14) правильна (в тех же, конечно, пределах точности). На стр. 53 той же статьи я достаточно ясно подчеркнул ориентировочность этих расчетов. Там буквально написано следующее: «...поэтому формулы для напряжения на дуговом промежутке являются приближенными, а следовательно, и сопротивление дугового промежутка, подсчитанное по формуле (16), отличается от действительного. Полученные величины сопротивления дугового промежутка являются ориентировочными; тем не менее характер самого явления отражается правильно...»

Действительно, в рассматриваемом разделе моей работы доказывается наличие тока в промежутке за время нестационарного напряжения на нем, конечность величины сопротивления дугового промежутка и непосредственная связь сопротивления с процессом восстановления напряжения. И это было мной доказано. Но имеет ли промежуток сопротивления 100, или 1000 Ω — это принципиальной роли не играет, так как, повторяю, дело идет о порядке величины, а не о ее точном значении. Это неоднократно подчеркивалось мной в моих работах.

Далее М. М. Акодис рассматривает осциллограмму рис. 15 и, пользуясь (как он полагает), методом Van Sickle, вычисляет сопротивление дугового промежутка, а затем сравнивает полученную им кривую с моей, подчеркивая «неправильность» моих расчетов. Прежде всего отмечу, что подсчет кривых рис. 13 и 14 был начат в ВЭИ еще в 1933 г., когда статьи Van Sickle не были мне известны. Основная часть этих расчетов была проделана в 1934 г. [5], когда мы уже познакомились с этой работой. Однако Van Sickle указал лишь принципы этого метода, но не дал его в развернутой форме. Так как мы искали порядок величин, то продолжали пользоваться нашей формулой (16), тем более, что метод Van Sickle имеет неудобства, указанные ниже.

Кривые рис. 13 и 14 и ряд других были опубликованы еще в начале 1935 г. [2]. Спрашивается, почему же Акодис критикует их только в конце

1940 г.? Неизвестно. Метод Van Sickle был нами разобран еще в 1935 г. [6] и затем более подробно в диссертации, написанной в 1939 г., и для целого ряда опытов мы им пользовались.

Сказанного по сути дела достаточно для доказательства необоснованности нападок М. М. Акодиса, но нельзя обойти молчанием следующее.

Кривая $r_D = \varphi(t)$ на рис. 4 статьи М. М. Акодиса, которая должна доказать неприменимость наших расчетов, подсчитана им неверно. Дабы не было никаких недомолвок и двух мнений, приведу метод Van Sickle, изложенный нами в вышеуказанных материалах.

В любой момент времени для нестационарного процесса на промежутке действительны уравнения:

$$E_r = h \frac{di}{dt} + u_c \text{ и } i = i_1 + i_2$$

(обозначения те же, что и в нашей статье [3]). Из первого уравнения находим

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t (E_r - u_c) dt + K,$$

где K — некоторая постоянная,

$i_1 = C \frac{du_c}{dt}$ — ток в емкости.

При $t = 0$ (при произвольно выбранной точке на кривой)

$$(i)_{t=0} = (i_1 + i_2)_{t=0}; (i_1)_{t=0} = i_{CO} = C \left(\frac{du_c}{dt} \right)_{t=0}.$$

Если бы мы знали точно момент прохождения тока самоиндукции через нуль, то, совместив начало отсчета времени с этим моментом, можно было бы считать постоянную K равной нулю и произвести расчет. Однако как указано выше, этот момент не известен. При составлении уравнения для напряжения на дуге его мы по существу угадываем. Для определения этого момента времени (или K) нам нужно еще какое-то условие. Это условие есть: в момент прохождения напряжения на дуге через нуль ток в дуге всегда равен нулю. Этим мы и воспользуемся для определения постоянной K , являющейся по существу поправкой к выбранному нами началу отсчета времени¹:

$$i_2 = i_B = i - i_1 = \frac{1}{L} \int_0^t (E_r - u_c) dt - C \frac{du_c}{dt} + K, \quad (1)$$

при $t = 0$ ток в дуге равен какой-то величине i_{BO} и ток в емкости i_{CO} .

Считая в уравнении (1) $t = 0$, получим:

$$K = i_{BO} + i_{CO},$$

и таким образом

$$i_2 = i_B = \frac{1}{L} \int_0^t (E_r - u_c) dt + i_{CO} + i_{BO} - C \frac{du_c}{dt}. \quad (2)$$

Для определения i_{BO} воспользуемся моментом прохождения напряжения на промежутке через нуль:

$$(i_B)_{t=t_0} = 0 = \frac{1}{L} \int_0^{t_0} (E_r - u_c) dt + i_{CO} + i_{BO} - C \left(\frac{du_c}{dt} \right)_{t=t_0},$$

¹ Это, между прочим, дает ключ к определению момента времени, когда $t = 0$.

откуда

$$i_{BO} = C \left(\frac{du_c}{dt} \right)_{t=t_0} - i_{CO} - \frac{1}{L} \int_0^{t_0} (E_r - u_c) dt.$$

Подставляя полученное выражение для i_{BO} в уравнение (1), получим окончательно²:

$$i_B = \frac{1}{L} \int_{t_0}^t (E_r - u_c) dt - C \left[\frac{du_c}{dt} - \left(\frac{du_c}{dt} \right)_{t=t_0} \right]. \quad (3)$$

По формуле (3) можно определить ток в дуговом промежутке в любой момент времени и затем $r_B = \frac{u_c}{i_B}$. М. М. Акодис же, видимо, пользовался неправильной формулой, так как его расчеты не соответствуют экспериментальным данным.

На рис. 1 приведена кривая 1, взятая из рис. 14 нашей статьи (кривая, критикуемая М. М. Акодисом), кривая 2 — подсчитанная по уравнению (3) для того же опыта при $E_r = 3300$ В и $L = 0,35$ Н и пунктирная кривая 3, подсчитанная по уравнению (3) при $E_r = 2300$ В и $L = 0,25$ Н (как считал Акодис).

Как видно, кривые 1 и 2 дают довольно близкие значения. При некотором t кривые начинают расходиться, что вполне согласуется с нашими замечаниями: чем меньше α_1 будет отличаться от α_2 , тем ошибка при пользовании нашим методом будет больше.

Таким образом никаких ошибок мы не сделали, а допущены ошибки со стороны М. М. Акодиса.

Однако, повторяю, в своей работе я определял лишь порядок величин, что для доказательства конечности величины сопротивления дугового промежутка вполне достаточно.

Метод определения величины сопротивления я сам квалифицировал как неточный, но, как показано, он дает довольно близкое приближение к действительности.

Далее М. М. Акодис подчеркивает, что восстановление напряжения для этой осциллограммы «даже совпадает» с моментом прохождения напряжения через нуль и что процесс на рис. 15 оканчивается новым зажиганием. А какое это имеет отношение к делу? (Я не хочу рассматривать вопроса — так ли это). Разве процессы восстановления напряжения при последующем новом зажигании дуги или ее гашении не аналогичны друг другу с рассматриваемой точки зрения? В том и другом случае раньше считалось, что сопротивление дугового промежутка равно бесконечности и цель рассматриваемого раздела работы — доказать противное. Это и было сделано. А зажигается дуга вновь или окончательно тухнет, — вопрос другой, отнюдь не меняющий содержания первого вопроса и его решения. Точно так же вопрос о том, когда начинается процесс восстановления напряжения, при непрерывном протекании тока в дуге, совсем не так просто решается, как это представляет себе М. М. Акодис. Если нет резких изменений в кривой напряжения на дуге, характеризующих резкое изменение сопротивления дугового промежутка, ответ на данный вопрос вообще является неопределенным.

Далее утверждается, что напрасно мы пользовались катодным осциллографом, можно было пользоваться и магнитным, так как частота собствен-

ных колебаний нашей цепи невелика. Это утверждение совершенно неправильно, так как выбор катодного осциллографа сделан по двум соображениям.

1. Осциллограф записывает не только собственную частоту колебаний цепи, но и все местные, иногда очень резкие, изменения напряжения. Например, для той же осциллограммы 15 магнитный осциллограф, при соответствующем подборе шлейфы, записал бы весь процесс без искажений до положительного пика напряжения на дуге, но последующий затем резкий спад напряжения он уже более или менее точно записать бы уже не смог.

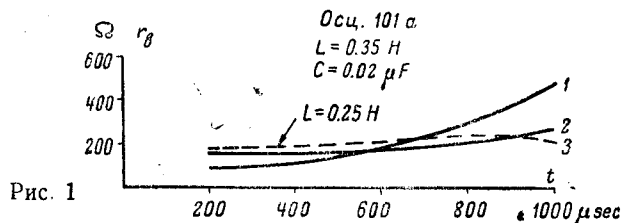


Рис. 1

2. При использовании магнитного осциллографа необходимо промежутки шунтировать омическим сопротивлением небольшой, сравнительно величины (для питания шлейфы), а это вкорме исказит процесс.

Относительно кривой напряжения на рис. 18 моей статьи я уже говорил выше. Построили мы ее так, как строится теоретическая кривая восстанавливающегося напряжения по теоретическому уравнению, только значения r_B определялись из кривых Van Sickle.

То, что в наших опытах теоретическая и экспериментальная частоты собственных колебаний близки друг к другу, а скорости восстановления напряжения сильно разнятся, вполне понятно и объясняется сильным затуханием за счет малой величины r_B . Это достаточно подробно разобрано в моей статье [3] и останавливаться на этом еще раз не имеет смысла. Скажу только, что величина этого затухания и послужила ключом к определению r_B . Отмечу еще, что величина и момент прохождения тока в индуктивности через нуль брались, как уже указывалось, не всегда точно и за этот счет некоторые ошибки имели место, но они не могли принципиально влиять на результат исследования.

Далее указывается, что неправильно определять из уравнения (5) момент достижения максимума напряжения на промежутке и что его нужно определять из уравнения³ (3) моей статьи.

Отмечу только, как предварительное мнение, что больше внушает доверия уравнение (5), а не (3). К тому же, если рассматриваемый момент времени определить из уравнения (3), а не из (5), то результат получается почти тот же.

Показателен тот факт, что, критикуя работы ВЭИ, М. М. Акодис ни единым словом не опровергает выводов из этих работ. Казалось бы вполне естественным, что если методика исследования была порочна, то и результаты работ должны быть неверны. Однако М. М. Акодис этого не указывает. Почему же так? Да потому, что он критикует некоторые частности, не анализируя работы в целом.

Перейду непосредственно к критике моей книги (вернее, трех ее страниц — 85—88).

Считаю не лишним опять отметить, что книга из-

³ М. М. Акодис указал уравнение (2), но это явная описка.

² Отметим, что эта формула доказывает также, что ток в дуговом промежутке за время нестационарного процесса не равен току в емкости, как уже указывалось выше.

дана в 1936 г., рукопись в издательство была сдана в апреле 1935 г., а рассматриваемый М. М. Акодисом раздел написан в 1934 г., т. е. когда еще расчетного материала на эту тему почти не было. При определении скорости восстановления напряжения при отключении трехфазного к. з. возникает вопрос, какими индуктивностями и емкостями следует оперировать и можно ли схемы в этих случаях изображать однолинейными? Этот вопрос не освещен полностью до настоящего времени, а шесть-семь лет назад в литературе совсем на этот предмет ничего не было. В книге сделана попытка показать, что и при двухфазном и при трехфазном к. з. следует пользоваться фазными значениями индуктивности и емкости системы, следовательно, можно пользоваться однолинейными схемами, меняя только так называемый «коэффициент схемы». Следует подчеркнуть, что таким методом (однолинейным) пользуются по сей день почти все, рассчитывающие восстанавливающееся напряжение при трехфазном к. з., в частности, и сам М. М. Акодис [7], хотя никто не доказал правильность этого, в особенности для сложных сетей. И цель моих расчетов и схем на указанных трех страницах книги — доказать возможность этого для простых схем. При этом я предварительно (стр. 85) говорю, что колебания цепи генератора и реактора могут рассматриваться независимыми. При этих допущениях цель была достигнута и было показано, что при трехфазном к. з. можно пользоваться фазными значениями L и C .

М. М. Акодис же, не желая понимать смысла моих рассуждений, констатирует «принципиальные ошибки».

Я рассматривал скорость восстановления напряжения на всем выключателе (вернее — на его первой фазе), а не отдельно на каждом его полюсе. Такая методика анализа процесса (на каждом полюсе) лишь запутает студента, в особенности, если учесть то время, которое отводится ему на усвоение этого раздела. Поэтому схема 10, в (в обозначении М. М. Акодиса) дана мной совершенно правильно и ни в каких поправках не нуждается, в том числе и во внесении в схему емкости C_k . В книге рассмотрен процесс при замыкании непосредственно за выключателем (очень частый на практике случай) и для него $C_k = 0$. Есть на практике схемы, когда место к. з. удалено от выключателя. Тогда $C_k \neq 0$, но тогда, как правило, имеются и дополнительные индуктивности. Таким образом М. М. Акодис, по сути дела, берет другой практический случай, расчетом которого я не занимался и о котором Акодис отзывается лишь как о сложном, не беря на себя труд рассчитать его. Что касается других двух схем, то для вышеуказанных целей их можно было бы начертить значительно проще, и здесь я напрасно их усложнил, но и при более простом их начертании результат будет тот же⁴ (при раздельном рассмотрении генератора и реактора). Более подробно на этом я не стану останавливаться; скажу только, что связывать емкость генератора с индуктивностью реактора, как делает М. М. Акодис, — это значит рассматривать связанные системы, что я не ставил своей целью. Далее указывается на непригодность метода подсчета скорости

восстановления напряжения для двух или нескольких контуров, приведенный на тех же страницах книги. Этот метод не принадлежит мне. Он был в свое время предложен в американской литературе, когда метода расчета двух- и трехчастотных контуров еще не было. Когда я писал этот раздел, статьи Л. Е. Машкиллейсона, на которую ссылается М. М. Акодис, также не было. Поэтому я в книге дал то, что можно было дать в то время. Метод раздельного рассмотрения контуров не является точным и об этом, как и о методе использования только фазных значений емкостей и индуктивностей, достаточно ясно указано на стр. 85, 88 и 89 книги. Следует также отметить, что вообще подобные расчеты и теперь дают лишь приближенные результаты. Действительно, как указано на стр. 89 книги, индуктивность и емкость генератора распределены по его обмотке, емкости же выводов и шин сосредоточены, при расчетах же и те и другие считают сосредоточенными. Это дает ошибки, которые в отдельных случаях могут быть больше ошибок, вносимых упрощениями, принятыми мною.

Вообще методика расчета скорости восстановления напряжения даже теперь (а не в 1934 г.) изобилует допущениями и предположениями.

Что касается того, пользоваться ли средними скоростями восстановления напряжения или максимальными, то я всегда держался того мнения, что процесс лучше характеризуется средней скоростью восстановления напряжения, потому что она есть какая-то физическая величина, а максимальная скорость — фикция, некоторое условное понятие, физически не обоснованное.

Остается еще один пункт — это формула для средней скорости восстановления напряжения, помеченная М. М. Акодисом цифрой (2). Прежде всего эта формула предложена в 1935 г. [8] и в книгу она попасть не могла. Кроме того, я лично не являюсь ее сторонником. Ведь до сих пор недостаточно исследовано, какая именно скорость является наиболее характерной, — спорить можно, но доказать ничего пока нельзя. Кроме того, все расчеты восстановления напряжения могут на-сегодня производиться для более или менее сложных схем лишь грубо приближенно, и имеет ли смысл на отдельных этапах расчета искать точности до процентов, когда на других допускаются ошибки в десятки процентов?

Как видно из всего сказанного, очередная статья М. М. Акодиса, вопреки своему ширококвещательному вступлению, не вносит ничего нового и ценного в изучение процессов гашения дуги и восстановления напряжения.

Литература

1. М. М. Акодис. Упругая камера с масляным дутьем. Труды первого Всесоюзного совещания по высоковольтному аппаратостроению. Изд. ВНИТОЭ, 1938.
2. А. Я. Буйлов. «Бюллетень ВЭИ», стр. 28 и др., № 1, 1935.
3. А. Я. Буйлов. «Электричество» № 1, 1936.
4. А. Я. Буйлов. «Электричество» № 14, 1937.
5. Отчет ВЭИ по исследованию дуги переменного тока за 1934 г.
6. То же, за 1935 г.
7. М. М. Акодис и Ц. А. Меламед. «Электрические станции» № 4—5, 1939, см. также рецензию на эту статью А. Я. Буйлова и Ю. В. Буткевич. «Электрические станции» № 5—6, 1940.
8. Flurscheim. Journ. of IEE, март 1935.

⁴ Следует все же отметить, что при рассмотрении связанных систем моя схема рис. 48 книги неправильна, здесь я ошибся, и в этом именно Акодис прав.

К статьям М. М. Акодиса и А. Я. Буйлова

1. Письмо инженеров Ленинградского завода «Электроаппарат»

Статья М. М. Акодиса «Об ошибках в изучении процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя» в основном содержит не изложение каких-либо новых идей в связи с теорией процессов восстановления напряжения, а лишь критику (в ряде случаев неправильную) работ А. Я. Буйлова. Причем, оспаривая некоторые выводы в работах А. Я. Буйлова 1934—1936 г., М. М. Акодис сам выдвигает не бесспорные положения.

А. Я. Буйлов признает правоту М. М. Акодиса лишь в отдельных случаях — в деталях, лишенных принципиального значения (см. ниже подробнее). Однако, некоторые справедливые замечания М. М. Акодиса А. Я. Буйлов в своем ответе признает неполностью.

Общие интересы диктуют авторам перевести дискуссию исключительно на деловую почву с тем, чтобы обеспечить тесное сотрудничество лабораторий ВЭИ и Донэнерго, так как существующие совершенно ненормальные взаимоотношения приносят ущерб техническому прогрессу советского аппаратаостроения.

Необходимо отметить, что вопросы, связанные с процессами восстанавливающегося напряжения и методами их расчета, весьма интересны и актуальны. Следует просить авторов опубликовать результаты своих работ по испытанию различного типа дугогасящих устройств. Это будет тем более ценно, что и Донэнерго, и ВЭИ давно занимаются вопросами измерений восстановления напряжения, и, следовательно, должны были накопить достаточно большой расчетно-экспериментальный материал.

Переходим к разбору отдельных положений названных статей.

Физическая картина явления восстановления напряжения в элементарной схеме рис. 1 статьи М. М. Акодиса на самом деле не отражает физику явления, как говорит инж. М. М. Акодис, а является абстракцией, неприменимой к дуге, так как изменение сопротивления дуги от малого до бесконечно большого значения происходит за конечный промежуток времени. Поэтому в кривой тока дуги принципиально не может быть разрыва непрерывности.

Различие между отвлеченным представлением, данным М. М. Акодисом, и физически идеальным процессом заключается не столько в наличии емкости, сколько в отмеченном выше факте протяженности во времени процесса нарастания сопротивления дуги. Поэтому ошибочно считать непосредственной причиной появления восстанавливающегося напряжения изменение наклона тока, протекающего через самоиндукцию. В действительности причиной является изменение сопротивления дугового промежутка, «вынуждающее» изменение величины напряжения на самоиндукции, а следовательно, изменение наклона кривой тока, протекающего через нее.

Поэтому нельзя вовсе считать доказанным и очевидным, что процесс восстановления напряжения необходимо отсчитывать от момента, когда $i_L = 0$. С таким же успехом можно считать за начало восстановления напряжения момент перехода тока через нуль в емкости, или момент перехода через нуль напряжения на дуге, или другие, условно выбран-

ные моменты, без всякого ущерба для ясности физического представления процесса.

М. М. Акодис правильно указывает на неверную формулировку, данную А. Я. Буйловым для момента $t = 0$. Однако ниже он соглашается с правильной выработкой А. Я. Буйловым начальных условий, указывая лишь, что они противоречат предыдущим заявлениям, сделанным им же (А. Я. Буйловым) в тексте. На самом деле неточны также и принятые А. Я. Буйловым начальные условия. Действительно, при

$$U_{B\max} = \frac{dU_B}{dt} = i_c = 0.$$

Поэтому в момент, соответствующий $U_{B\max}$, ни I_L , ни I_d не могут быть равны нулю. Следовательно, необходимо было или положить U_B меньше $U_{B\max}$ (что соответствовало бы некоторому промежутку времени после достижения пика гашения), или принять другие начальные условия, действительно соответствующие пику гашения, т. е. при $t=0$, $I_c=0$; $U_B = \max$; $I_g = -\frac{U_{B\max}}{r_B}$; $I_L = -I_d$.

А. Я. Буйлов в ответе не признает этой своей ошибки, пытаясь доказать, что возможны случаи, когда при $U_{B\max} \frac{dU_B}{dt}$ имеет конечное значение и, принимая, что ток в индуктивности в этот момент также равен нулю. В цепях с сосредоточенными постоянными, при плавном изменении сопротивления дуги, это невозможно. Разрыв непрерывности кривой напряжения на пике гашения возможен лишь в случае полных или частичных пробоев дугового промежутка, а также в цепях с распределенными постоянными. Для обоих этих случаев рассматриваемая А. Я. Буйловым расчетная схема неприменима (см. «Электричество», 1936 г. № 1, стр. 48, рис. 5).

Метод, использованный А. Я. Буйловым для определения $r_d = f(t)$, является грубо приближенным, о чем указывает сам А. Я. Буйлов, однако нельзя считать его вообще неприменимым во всех возможных случаях.

А. Я. Буйлов должен согласиться, что было неправильно определять из уравнения (5) время достижения максимума напряжения.

Пояснения, сделанные М. М. Акодисом к рис. 7, 8 и 9 статьи, неудовлетворительны, так как рис. 7 не эквивалентен рис. 8. Если уж проводить подобную аналогию, то следовало бы последовательно с самоиндукцией L_2 включить второй источник э. д. с., эквивалентный э. д. с. второй из закороченных фаз (см. схему а рисунка).

Учитывая, что фазная э. д. с. и напряжение на фазной реактивности равны и прямо противоположны, можно схему а заменить схемой в.

В момент отключения первой фазы мгновенные значения э. д. с. второй и третьей фаз равны и прямо противоположны, поэтому напряжения на

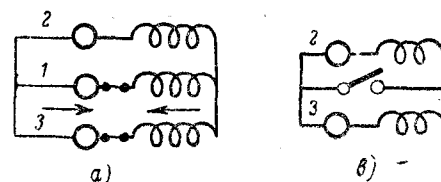


Рис. 1

реактивностях этих фаз должны обратиться в нуль. Это приведет к восстановлению напряжения между нейтралью генератора и точкой к. з., равного мгновенному значению э. д. с., индуктированной во второй и третьей фазах, т. е. половине фазного напряжения. Полное напряжение на зажимах первого полюса выключателя сложится из этой величины плюс э. д. с. первой фазы, т. е. оно будет, как это известно, равно полуторафазному напряжению.

Утверждение М. М. Акодиса, что при неучете C_k схема А. Я. Буйлова 10, б не верна, не соответствует действительности, так как через землю, по условиям симметрии и равенства частот, уравнительные токи отсутствуют. Учет C_k усложняет расчет и не представляет практического интереса, так как наиболее тяжелым случаем является к. з. на зажимах выключателя, в этом же случае $C_k = 0$.

Для случая трехфазного к. з. без земли в сети с заземленной нейтралью схему А. Я. Буйлова нельзя считать неправильной, хотя быть может ее можно изобразить проще, на что указывает А. Я. Буйлов (см. «Ответ»).

А. Я. Буйлов в своем ответе признает, что схема рис. 48 (данная в книге) не верна лишь для связанных систем. На самом деле она также неприменима для изолированных колебаний. Утверждение А. Я. Буйлова в «Ответе», что связывать емкость генератора с индуктивностью реактора значит рассматривать связанные системы, неверно, так как в этом случае имеется возможность рассматривать изолированно контур-реакторы второй и третьей фаз с частью емкости двух фаз генератора и контур-реактивность всего генератора с емкостью всех фаз генератора.

*Инж. Е. В. КАЛИНИН, инж. В. П. КАПЛАН,
инж. В. П. МЕРЖВИНСКИЙ
(Бригада НИТОЭ завода «Электроаппарат»)*

2. Письмо научных работников ВЭИ

По поводу статьи М. М. Акодиса «Об ошибках в изучении процесса восстановления напряжения на дуге высоковольтного выключателя» можем заметить следующее:

1. Работы по изучению процесса гашения дуги были начаты в ВЭИ в 1933 г. Та часть этих работ, которая критикуется М. М. Акодисом, была в основном проделана еще в 1934 г.

Эти работы (главным образом А. Я. Буйлова) дали ряд новых (для того времени) положений, освещающих по-новому процессы гашения дуги переменного тока.

Так например, одновременно с американским исследователем Van Sickle в результате этих работ было установлено, что дуговой промежуток за время восстановления напряжения имеет конечное сопротивление. Этому раньше не знали, и даже такие крупные исследователи, как Slepian и Brown, пользовались в своих работах методикой, основанной на предположении бесконечно большого сопротивления дугового промежутка за указанный промежуток времени¹. Затем было найдено новое явление, по-иному ставящее вопрос о влиянии на процесс гашения дуги емкости, шунтирующей выключатель, и т. д.

Работы по изучению процессов гашения дуги и

теперь требуют сложной и кропотливой методики, а в то время они представляли еще большие затруднения, так как ни разработанной методики, ни современной аппаратуры не было.

Кроме того, вышеуказанные результаты шли в разрез с существующим в то время общепринятым взглядом на процесс гашения дуги переменного тока.

Поэтому прежде чем окончательно убедиться в полученных результатах самим, и тем более — прежде чем довести их до общего сведения, была проделана большая работа как по методике экспериментирования и анализа полученных данных, так и по числу опытов с теми или иными дугогасящими устройствами. Число опытов измерялось тысячами и каждый из них — с применением катодного осциллографа, что для того времени было не так просто, как теперь.

Следует отметить, что некоторые работники в области выключающей аппаратуры в СССР не разделяли мнения ВЭИ по этому вопросу. М. М. Акодис был также противником этой теории. В частности, на Всесоюзном совещании по высоковольтной аппаратуре в Ленинграде в 1937 г.² М. М. Акодис пропагандировал так называемую «теорию масляной пленки», предложенную американскими исследователями. Эта теория находилась в прямом противоречии с вышеуказанными взглядами ВЭИ. В последние годы теория масляной пленки окончательно скомпрометирована и ее сторонников как будто уже нет. Наоборот, теория конечной проводимости дугового промежутка получила общее признание и ее противники больше не встречается.

За прошедшие 6—7 лет в ВЭИ продолжались работы по изучению процессов отключения. За эти годы получено немало новых материалов, которые в некоторой степени уточняют и расширяют полученные ранее результаты, но не противоречат им.

Таким образом рассматриваемые работы ВЭИ (в частности, А. Я. Буйлова) отнюдь не исказили физики процесса, как то утверждает М. М. Акодис. Наоборот, они двинули вперед наши познания в области дуги. Современное состояние вопроса дает основание считать, что в вышеуказанных работах ВЭИ были некоторые методологические ошибки, но они совсем не того порядка, о котором говорит М. М. Акодис. Его критические замечания в рассматриваемых статьях в основном являются необоснованными.

2. Вышеизложенное, конечно, вовсе не означает, что ВЭИ непогрешимо в своих работах.

В столь сложном вопросе, как электрическая дуга, с большим трудом поддающаяся исследованию, заблуждения, конечно, возможны. В короткой сравнительно истории изучения дуги уже отмечено несколько ошибочных мнений, высказанных даже исследователями с мировыми именами, как, например, теория масляной пленки Бирманса и Принца, экспансионная теория Кессельринга, вышеуказанная методика исследования Слепяна и Броуна и т. д.

К счастью для ВЭИ, ему удалось избежать принципиальных ошибок. Как уже упоминалось, в ВЭИ были допущены только некоторые методологические ошибки, не повлиявшие на основное содержание работ и выводы из нее. Само собой разумеется, что своевременная критика этих ошибок была бы очень желательна и полезна. Критика была бы

¹ См., например, статью А. Я. Буйлова в «Бюллетене ВЭИ» № 1 за 1935 г. и отчет лаборатории коммутационной аппаратуры за 1934 г.

² См. Труды первого Всесоюзного совещания по высоковольтной аппаратуре, Ленинград, изд. ВНИТОЭ, 1938.

полезна и в настоящее время (хотя с тех пор прошло 6 лет и в свете современных знаний смысл этой критики будет иной), если бы она была более обоснована и если бы автор критики поставил себе какую-либо полезную цель, например, популяризовать дуговые процессы и продвинуть вперед изучение этих процессов. К сожалению, критика М. М. Акодиса далека от этого.

Следует отметить, что свои высказывания М. М. Акодис не подтверждает ни собственными экспериментальными данными, ни солидными расчетами, так как их у него, повидимому, нет.

Единственная работа по теории гашения дуги, опубликованная М. М. Акодисом («Электричество» № 12 за 1939 г.), по существу заключается в необоснованной критике работ А. Я. Буйлова на основании опять-таки умозрительных рассуждений и не содержит ни экспериментальных, ни расчетных данных.

Кажется совершенно очевидным, что такая «критика» вносит ненужную шумиху и запутывает, а не разъясняет рассматриваемые вопросы.

3. В последние годы вопросами теории дуги, кроме ВЭИ, начали заниматься и другие организации (ЛЭТИ, завод «Электроаппарат» и пр.). Вопросы методики исследования дуги очень сложны и в значительной степени являются еще неразработанными. Поэтому очень желательным было бы периодически устраивать по этим вопросам совещания с привлечением широкого круга лиц и о последующем опубликовании результатов совещаний в печати.

*Д-р техн. наук проф. Ю. В. БУТКЕВИЧ,
инж. Н. Н. ЛИННИЧЕНКО,
канд. техн. наук Л. И. МОЙЖЕС,
инж. А. М. МЕЛЬКУМОВ,
инж. Б. В. МАЛЕВИНСКИЙ*

ИЗ РАБОТ СОВЕТСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ

(Краткие сообщения)

О физике явлений, происходящих при гашении дуги переменного тока в масляных деионных выключателях

*Инж. Ю. Я. ЮРОВ, инж. А. А. СМЕРНОВА
Ленинградский Электротехнический институт им. Ленина*

В настоящей работе исследовалась открытая дуга в воздухе при наличии воздушной волны сжатия, создаваемой специальным приспособлением.

Напряжение на дуге при прохождении воздушной волны увеличивается, причем частота колебаний этого напряжения совпадает с частотой прохождения волны сжатия. Вид осциллограмм напряжения на дуге напоминает напряжение на дуге деионного выключателя. Дуга при прохождении волны воздуха гаснет во время ближайшего перехода тока через нуль.

Штенбеком¹ был проделан опыт по измерению напряжения на электрической дуге, горящей при отсутствии силы тяжести. Дуга горела в сосуде, свободно падающем в поле земного тяготения. Было обнаружено, что напряжение на дуге падает практически до нуля и остаются только катодные и анодные падения. Объяснения этого явления не было дано. Сьютс дал объяснение этого явления в своих статьях².

Не рассматривая вопроса о правильности количественного выражения зависимости, приведенной Сьютсом, следует отметить, что зависимость эта представляется интересной в том отношении, что с увеличением ускорения силы тяжести должно происходить повышение напряжения на дуге.

Это соображение навело нас на мысль объяснить явление гашения дуги в выключателях с деионной решеткой наличием больших ускорений газа при взрывах, происходящих в момент касания ствόла дуги стенки деионной решетки. Уже ранее в работах по порче масла было выяснено, что взрывы, происходящие в деионной решетке, повидимому, влияют на гашение дуги³.

Поэтому у нас возникло желание проверить экспериментально это положение, поставив опыт, в котором были бы исключены все факторы, влияющие на гашение дуги, за исключением больших ускорений газа, имеющих место при взрывах.

Наша установка была спроектирована таким образом, чтобы создавать волны сжатия, движущиеся в газе и проходящие на своем пути ствол исследуемой дуги. Время подачи волны могло регулироваться в широких пределах по желанию экспериментатора.

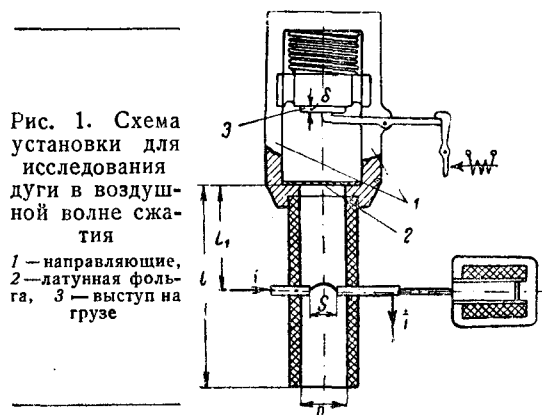


Рис. 1. Схема установки для исследования дуги в воздушной волне сжатия
1 — направляющие, 2 — латунная фольга, 3 — выступ на грузе

Во время опыта производилась запись, с помощью шлейфового осциллографа, тока, напряжения на дуге и момента возбуждения волны. Конструктивное оформление установки схематично показано на рис. 1. Дуга возбуждается в трубке из изолирующего материала при раздвижении контактов. Трубка расположена вертикально, имеет оба конца открытыми и сверху заканчивается металлическим фланцем. Над фланцем по направляющим может перемещаться груз с выступом. Сверху груз прижимается пружиной и может удерживаться в верхнем положении при помощи собачки. При действии соленоида, выдергивающего собачку, груз под действием силы пружины и силы тяжести падает вниз и прогибается своим выступом тонкую латунную фольгу, расположенную сверху на отверстии фланца. При этом воздух

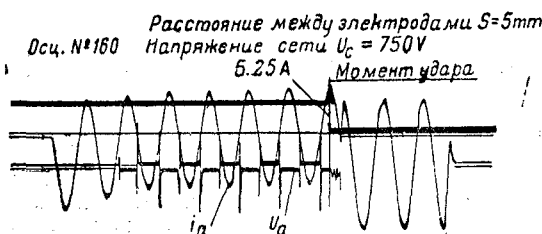


Рис. 2

¹ Энгел и Штенбек. Физика и техника разряда в газах, т. II.

² C. I. Suit's & Poritsky. Application of Heat Transfer to Arc Characteristics. Phys. Rev. vol. 55, pp. 1184—1191, June 15, 1939.

³ См. статью Ю. Я. Юрова и А. А. Смирновой. Гашение дуги переменного тока в магнитном поле в № 12 «Электричество», 1940.

в трубке будет сжиматься, и вдоль по трубке побежит волна сжатия, пересекая на своем пути ствол дуги. Ток в соленоид, раздвигающий контакты, подавался от схемы синхронного включения. Выдержка времени между началом раздвижения контактов и моментом освобождения собачки, удерживающей пружину в сжатом состоянии, создавалась при помощи тиратронного реле времени и могла произвольно изменяться в широких пределах.



Рис. 3

На рис. 2 приведена осциллограмма тока и напряжения на дуге. Момент удара груза также отмечался на осциллографе при помощи замыкания специальных контактов, находившихся на поверхности фланца. Из рассмотрения осциллограммы № 160 следует, что удар груза и возникновение воздушной волны приводят к гашению дуги. По данным осциллограммы время между двумя соседними подъемами напряжения на дуге равно $t = 0,01/6,5 = 0,00154 \text{ сек.}$

На рис. 3 приведены осциллограммы напряжения на дуге в масляном деионном выключателе, полученные авторами при исследовании макета выключателя в аппаратной лаборатории ЛЭТИ. По виду напряжения на дуге напоминает напряжение на дуге в деионном выключателе при прохождении дугой деионной решетки (рис. 3). Исчезновение зубцов указывает на то, что дуга достигла конца деионной решетки и горит спокойно без взрывов.

Проведенная работа позволяет сделать выводы, что, видимо, для гашения дуги в некоторых случаях наличие дутья обязательно. Гашение дуги возможно при наличии волн сжатия в среде, окружающей горящую дугу. В устройствах с электромагнитным дутьем, в которых к моменту прохождения тока через нуль скорости движения дуги малы, особую роль играют волны сжатия, возникающие при взрывах, обусловленных соответствующей конфигурацией деионной решетки.

В дальнейшем необходимо математически исследовать и количественно просчитать процессы, происходящие при переходе волны сжатия через границу сред, имеющих различные плотности, а также поставить некоторые эксперименты.

Выполнение этих работ приведет к возможности рационального конструирования выключателей, работающих по этому принципу.

Одноштанговый токоприемник для троллейбуса

Инж. Г. Г. МАРКВАРДТ

Управление трамвайно-троллейбусного транспорта Мосгорисполкома

Удельный вес троллейбуса в городском транспорте непрерывно возрастает. Во многих наших городах троллейбус уже сейчас стал одним из основных видов средств сообщения.

Такое быстрое развитие еще молодого у нас вида транспорта во многом объясняется тем, что при значительно больших, по сравнению с трамваем, маневренных возможностях троллейбуса в то же время выгодно отличается от автотранспорта использованием электрической энергии вместо дорогостоящих видов топлива.

Наряду с этим в настоящее время троллейбус имеет еще ряд недостатков, сильно снижающих его показатели. К их числу в первую очередь необходимо отнести снижение скорости троллейбуса на пересечениях, стрелках и других специальных частях контактной сети. Это вызывает, помимо уменьшения скорости сообщения, также и излишний расход энергии. К существенным его недостаткам следует еще отнести частые сходы токоприемников и, как следствие этого, повреждение контактной сети и перебои в эксплуатации.

Большое нажатие токоприемника троллейбуса на провод, которое необходимо поддерживать для удовлетворительной устойчивости токоприемника, увеличивает износ контактной сети.

Все только что отмеченные недостатки работы относятся

к токосниманию, от которого, таким образом, в значительной мере зависит надежная работа троллейбуса. Это объясняет, почему у нас и за границей проблеме токосъема на троллейбусе в последнее время уделяется большое внимание.

Можно считать, что в практике сейчас используются два способа токоснимания на троллейбусе. Первый, более старый способ, — токоснимание с помощью ролика, несмотря на свои кажущиеся преимущества (отсутствие трения, скольжения), все более и более вытесняется в последнее время скользящим контактом. При переходе на скользящий контакт, как показывает иностранный опыт и опыт московского троллейбуса, создаются значительно более спокойные условия работы сети и повышается устойчивость токоприемника на проводе.

В последнее время все более реально ставится вопрос о более радикальных изменениях в системе токосъема троллейбуса. Речь идет о токосъеме с помощью двухполюсной головки, установленной на одной штанге.

Установка двухполюсного контакта на одной штанге вместо двух штанг, оборудованных однополюсными контактами, не вносящая на первый взгляд существенных изменений, на самом деле при надлежащей конструкции токоприемника создает принципиально новые условия токосъема.

Рассматривая условия работы головки одноштангового токоприемника (рис. 1, а), можно сразу же отметить некоторые основные преимущества ее перед существующими однополюсными головками. Прежде всего необходимо отметить меньшее влияние массы токоприемника на контакт с проводами. Действительно, если по какой-либо причине один из контактных проводов отходит от контактной поверхности, то даже при неизменном положении второго провода скорость, с которой головка последует за отошедшим проводом, будет вдвое больше скорости, всего токоприемника.

В действительности же в некотором отдалении от точек подвеса, при разрыве контакта на одном полюсе, провод второго полюса, поворачивая своим весом головку, будет стремиться восстановить контакт (рис. 1, б). В этом случае масса токоприемника не отражается на скорости, с которой восстанавливается контакт. Благодаря этому обстоятельству двухполюсная головка значительно более устойчива, чем однополюсная.

Более надежная работа одноштанговой головки обуславливается также увеличенными контактными поверхностями, при которых провод находится у ребер только в отдельные моменты, а не во все время работы. Вследствие этого контактный провод, в случае отрыва его от токоприемника, легко вновь попадает на контактную поверхность, благодаря чему сход штанги значительно менее вероятен, чем при однополюсных головках.

Большие контактные поверхности облегчают также проход токоприемником различных конструкций и специальных частей контактной сети, причем сами эти конструкции могут быть значительно упрощены.

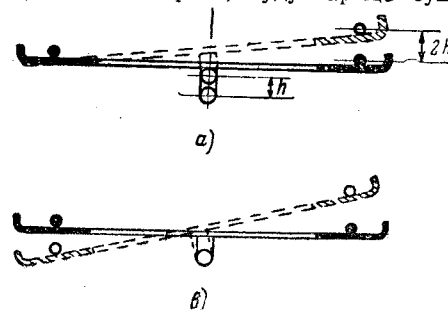
Приведенные выше особенности работы двухполюсной головки объясняют тот факт, что одноштанговый токоприемник может работать при нажатии на провод 6—7 kg с большей устойчивостью, чем существующий однополюсный, нажатие которого на провод равно 12—14 kg.

Итак, кроме отмеченных выше преимуществ одноштангового токоприемника (лучшая устойчивость на проводах), пониженное нажатие его на провод создает также значительно более благоприятные условия работы контактной сети.

Очень важным для сети преимуществом пониженного давления является уменьшение перегибов контактного провода при проходе токоприемника. Эти перегибы, периодически повторяясь, приводят к старению материала провода, следствием чего является надлом и последующий обрыв его.

Несмотря на то, что в настоящее время мы еще не имеем окончательных конструкций контактной сети, специализированных для работы одноштангового токоприемника, уже сейчас, на основании эскизной разработки, можно утверждать, что эти конструкции, во-первых, будут проще суще-

Рис. 1. Схема положения двухполюсной головки при вертикальном смещении одного из проводов



ствующих и, во-вторых, будут допускать значительно большие скорости.

Это очень важный факт как с точки зрения удобства сообщения, ликвидация загорнов на перекрестках, так и особенно с точки зрения экономии энергии, затрачиваемой на лишние пуски.

К преимуществам одноштангового токоприемника следует, наконец, отнести также значительное уменьшение (почти вдвое) нагрузки на крышку троллейбуса и увеличения его маневренных возможностей (например, возможность поворота под током на 180° на прямом участке сети).

Все изложенное выше объясняет, почему в последнее время проявляется большой интерес к одноштанговому токоприемнику как у нас, так и за границей, где уже имеются отдельные попытки ввести его на эксплуатируемых линиях.

Этим же объясняется, что в 1940 г. в тематику работ Научно-исследовательского института городского транспорта Мосгорисполкома была включена работа по созданию экспериментальной конструкции одноштангового токоприемника.

При подходе к проектированию этой конструкции была поставлена задача, создать такой токоприемник, на котором можно было бы произвести проверку общих условий токоприимания с помощью двухполюсной головки и различных принципов выполнения головки.

Возможные варианты выполнения такой головки могут быть разбиты в основном на две группы: головки без и со свободным вращением коромысла в горизонтальной плоскости.

Эти основные принципы построения головки в первую очередь и должны были быть испытаны. Кроме того, необходимо было получить данные относительно работы головки при фиксации ее положения на проводах с помощью реборд, либо расположенных с внешней стороны, либо помещенных между проводами, что имеет особый интерес при выполнении головки по второму варианту (без вращения в горизонтальной плоскости).

Таким образом на первом этапе работы, до выбора основных установок, нельзя было разрабатывать окончательный вариант головки, а следовательно, и производить выбор различных элементов контактной сети, которые в большей степени определяются выбранной конструкцией головки. Поэтому при проектировании экспериментальной головки ориентировались, главным образом, на то, чтобы иметь возможность использовать ее на уже существующей сети при минимальном приспособлении последней.

Экспериментальная головка, изготовленная институтом, представлена на рис. 2. Она состоит из текстолитового коромысла 1, шарнирно укрепленного на шкворне 8 при помощи распорки 5. Шкворень 8 имеет возможность вращаться в подпятнике 7, приваренном к кожуху 6, который закрепляется на штанге токоприемника. На концах коромысла 1 укреплены кронштейны 2, в которых на радиальных направляющих могут вращаться обоймы 3 (в плоскости, перпендикулярной оси коромысла). В обойму 3 вложена угольная вставка 4. С одной из головок токоприемника соединяется кабель, проложенный внутри штанги. Вторым проводом может служить либо укрепленный снаружи штанги бронированный кабель (как дано на рисунке), либо сама штанга.

Свободное вращение обоймы 3 в радиальных направляющих и возможность вращения всего коромысла в вертикальной плоскости обеспечивают плотный контакт при различных положениях токоприемника и в случае неодинаковой высоты проводов одного направления.

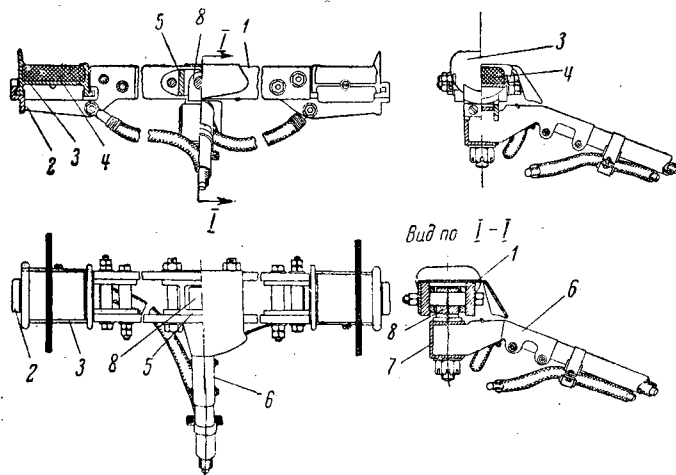


Рис. 2. Двухполюсная головка одноштангового токоприемника

Обоймы 3 имеют реборды, которые ограничивают горизонтальные перемещения головки токоприемника в направлении, перпендикулярном проводам. Ширина обоймы такова, что при подходе одного из проводов к реборду другой провод не сходит на текстолитовую часть коромысла, а остается на угольной вставке.

На рис. 2 показана головка токоприемника с фиксацией проводов ребордами, расположенными с внешней стороны проводов, и со свободным вращением коромысла в горизонтальной плоскости. Благодаря возможности такого вращения коромысла во все время работы очень немного отклоняется от положения, перпендикулярного к контактным проводам, благодаря чему длина головки лишь немного больше расстояния между проводами.

Однако обоймы головки могут быть переставлены таким образом, что реборды окажутся между проводами. Кроме того, устраняя возможность вращения коромысла, можно испытать головку без вращения коромысла в горизонтальной плоскости и с фиксацией ее положения с помощью реборд, расположенных между проводами. Такая конструкция представляет большой интерес в смысле простоты и по устойчивости. В этом случае при поворотах или отклонениях троллейбуса головка становится к проводам под углом, значительно меньшим 90° , и поэтому длина коромысла должна быть значительно больше расстояния между проводами.

Для выполнения этого требования предусмотрены специальные дополнительные обоймы, которые в виде консолей укрепляются на основных обоймах и образуют с ними общую контактную поверхность. Текстолитовое коромысло в этом случае сменяется на более длинное. Таким образом экспериментальная головка дает возможность произвести опытную проверку всех указанных выше вариантов выполнения конструкции.

Испытания одноштангового токоприемника производились в октябре 1940 г. на прямом участке 6-й линии на Ленинградском шоссе. Никакого специального переоборудования линии не производилось, поэтому для первого этапа испытаний пришлось ограничиться поездками на небольшом участке с цепной подвеской контактного провода. По тем же причинам не производились испытания на кривых участках. Испытаниями подверглась головка, выполненная в соответствии с рис. 2 (со свободным вращением коромысла в горизонтальной плоскости). Нажатие на оба провода было установлено в 14 kg (по 7 kg на провод против 12, принятых в настоящее время для однополюсных головок).

При испытании скорость движения троллейбуса постепенно была доведена до 35—40 km/h. Большая устойчивость головки на проводах и легкость, с которой она проходила встречающиеся конструкции контактной сети, позволили перейти к дальнейшему этапу испытания — езде с отклонением троллейбуса от проводов. Как и в первом случае, скорость троллейбуса была доведена до 35—40 km/h, причем движение происходило по зигзагообразной линии с резкими отклонениями от проводов. В конце испытаний был очень легко совершен поворот троллейбуса и перевод его на линию противоположного направления, что при двухштанговом токоприемнике вызывает значительные затруднения.

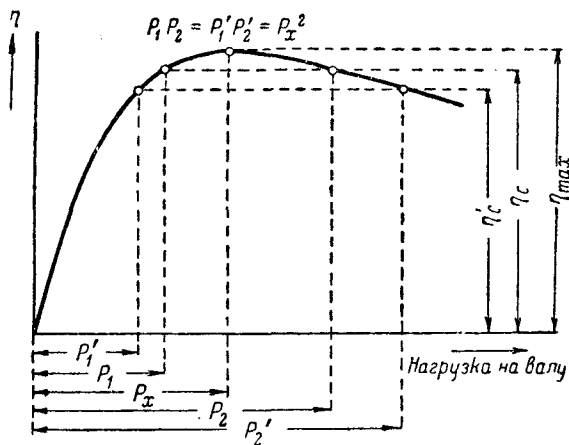
Результаты первых испытаний подтвердили преимущества одноштангового токоприемника, а также полную возможность и целесообразность внедрения его в эксплуатацию. Таким образом в настоящее время вопрос может стоять лишь о выборе того или иного варианта конструкции.

Для решения этого вопроса предполагается в первую очередь провести испытания всех видов выполнения головки как на прямых участках, так и на кривых, после чего можно будет перейти к проектированию окончательного варианта одноштангового токоприемника. Установление основных принципов, которые должны быть положены в основу конструкции токоприемника, позволят перейти к совместному проектированию токоприемника и контактной сети. При такой совместной разработке вопроса можно будет полностью использовать все преимущества двухполюсной головки и обеспечить надежный токостем на всех частях контактной сети троллейбуса при высоких скоростях.

Построение кривой к. п. д. электродвигателей

Канд. техн. наук, инж. Л. Б. ГЕЙЛЕР
Всесоюзный заочный индустриальный институт

В каталогах на электродвигатели обычно приводятся величины максимального к. п. д. двигателя η_{\max} и нагрузки P_x , при которой этот к. п. д. имеет место. По этим величинам,



как известно, без труда можно произвести разделение потерь: так как при максимуме к. п. д. постоянные P_0 и переменные P_{cu} потери двигателя равны, то

$$\eta_{\max} = \frac{P_x}{P_x + P_0 + P_{cu}} = \frac{P_x}{P_x + 2P_0},$$

откуда постоянные потери

$$P_0 = \left(\frac{1}{\eta_{\max}} - 1 \right) \frac{P_x}{2}. \quad (1)$$

При определении потерь по указанному способу на практике может встретиться затруднение вследствие того, что для некоторых типов двигателей в каталоге не указываются максимальная величина к. п. д. и нагрузка, при которой этот к. п. д. имеет место. Взамен этого в каталоге указываются две нагрузки P_1 и P_2 , при которых двигатель имеет одну и ту же величину к. п. д. $\eta_c < \eta_{\max}$. Например, могут быть даны такие пары значений нагрузки: $P_1 = 0,75P_n$, $P_2 = P_n$ или $P_1 = P_n$, $P_2 = 1,25P_n$.

Задача состоит в том, чтобы по известным каталожным данным определить, во-первых, максимальное значение к. п. д. η_{\max} , и, во-вторых, — ту нагрузку P_x , при которой двигатель имеет этот к. п. д. Очевидно, что (см. рисунок)

$$P_1 < P_x < P_2 \text{ и } \eta_c < \eta_{\max}.$$

На основании равенства значений η для обеих нагрузок P_1 и P_2 имеем:

$$\eta_c = \frac{P_1}{P_1 + P_0 + \left(\frac{P_1}{P_n}\right)^2 P_{cu}} = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + \left(\frac{P_2}{P_n}\right)^2 P_{cu}}, \quad (2)$$

(P_n — номинальная мощность двигателя), откуда после преобразований получаем соотношение —

$$\frac{P_0}{P_{cu}} = \frac{P_1 P_2}{P_n^2}. \quad (3)$$

Так как, с другой стороны, при максимуме к. п. д. должно иметь место равенство постоянных и переменных потерь,

$$P_0 = \left(\frac{P_x}{P_n}\right)^2 P_{cu}, \quad (4)$$

то, сравнивая равенства (3) и (4), находим

$$P_x = \sqrt{P_1 P_2}, \quad (5)$$

т. е. искомая нагрузка равна среднему геометрическому из значений нагрузок, указанных в каталоге.

Чтобы найти величину к. п. д. $\eta_x = \eta_{\max}$, преобразовываем одно из уравнений (2) к виду:

$$\eta_c (P_1 - P_2) + \eta_c \frac{P_1^2 - P_2^2}{P_n^2} P_{cu} = P_1 - P_2, \quad (6)$$

откуда переменные потери при полной нагрузке

$$P_{cu} = \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \cdot \frac{P_n^2}{P_1 + P_2}. \quad (7)$$

Принимая во внимание равенство (3), находим и постоянные потери

$$P_0 = \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \cdot \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}. \quad (8)$$

Величина максимального к. п. д.

$$\eta_{\max} = \frac{P_x}{P_x + P_0 + \left(\frac{P_x}{P_n}\right)^2 P_{cu}} = \frac{\sqrt{P_1 P_2}}{\sqrt{P_1 P_2} + 2 \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \cdot \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \eta_c}{\eta_c} \frac{P_g}{P_a}},$$

где P_g — среднее геометрическое значение заданных нагрузок P_1 и P_2 , P_a — среднее арифметическое значение заданных нагрузок P_1 и P_2 .

Пример: задано $P_1 = 0,75P_n$, $P_2 = P_n$, $\eta_c = 0,93$.

Имеем по формуле (5):

$$P_x = P_x = 0,866 \text{ и } P_a = \frac{1 + 0,75}{2} = 0,875.$$

По формуле (9) $\eta_{\max} = 93,15\%$.

Учитывая структуру выведенной формулы, а также порядок величин, с которыми приходится оперировать, рекомендуется все вычисления производить с повышенной точностью, например, пользуясь логарифмической линейкой длиной 50 см или иным равноценным по точности способом.

Полученные нами результаты позволяют, между прочим, быстро определять к. п. д. электродвигателя при нагрузках выше P_x (в зоне перегрузки), если известны значения к. п. д. при нагрузках, меньших P_x (в зоне недогрузки). Например, если требуется определить к. п. д. для какой-либо нагрузки $P_2 > P_x$ (см. рисунок), то находим „сопряженное“ значение нагрузки

$$P_1 = \frac{P_x^2}{P_2} < P_x.$$

Значение к. п. д., относящееся к нагрузке P_1 , будет одновременно принадлежать и нагрузке P_2 . Таким образом может быть легко и быстро построена кривая $\eta = f(P)$ во всяком диапазоне нагрузок.

Влияние соединительных полос в ряде трубчатых электродов на результирующее сопротивление заземления

Инж. Е. Н. ПРИКЛОНСКИЙ
„Гипроазот“

Соединительные полосы в ряде трубчатых электродов при их углублении в землю уменьшают результирующее сопротивление заземления многократного заземлителя. Теория определения степени этого уменьшения сопротивления заземления в настоящее время почти не разработана. Поэтому при расчетах используются некоторые данные, полученные из опытов на моделях в электролитических ваннах [1].

При расчетах заземления по этим данным нельзя было учесть влияния степени углубления электродов и изменения габаритов поперечного сечения соединительных полос или диаметра труб. Вызывала сомнение правильность учета промерзания или высыхания грунта. Наконец, сложность расчетов поставила вопрос о желательности его упрощения.

В статье дается теоретическая база для определения величины влияния соединительных полос на коэффициент использования ряда труб. При этом используется метод замены трубчатых электродов эквивалентной им горизонтальной магистралью, расположенной на глубине залегания центра труб от поверхности грунта. Радиус этой магистрали может быть определен из следующего соотношения [2]:

$$\ln \frac{a^2}{2t_m r_m} = \frac{ka}{t_m} \ln \frac{2l_m}{r_m}, \quad (1)$$

где a — расстояние между трубами (размеры в см), l_m — длина трубы; t_m — глубина залегания центра труб от поверхности грунта; r_m — наружный радиус трубы; r_m — радиус магистрали заменяющей трубы; k — коэффициент, учитывающий углубление труб.

Для более точного учета влияния углубления заземляющего устройства пользуемся методом зеркального отображения (рис. 1). Тогда величины потенциалов соединительной полосы φ_n и труб φ_m при однородном удельном сопротивлении грунта равно:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_n &= \varphi_{cn} + \varphi_{zn} + \varphi_{z0n} + \varphi_{zn0}; \\ \varphi_m &= \varphi_{cm} + \varphi_{zm} + \varphi_{z0m} + \varphi_{zm0}; \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где индексы s и z в соответствии с начальными буквами слов относятся к собственному и заносимому потенциалам. Последующие индексы указывают, откуда и куда заносится потенциал (например $\varphi_{zт,п}$ есть заносимый потенциал с отображения трубочатых электродов на полосу).

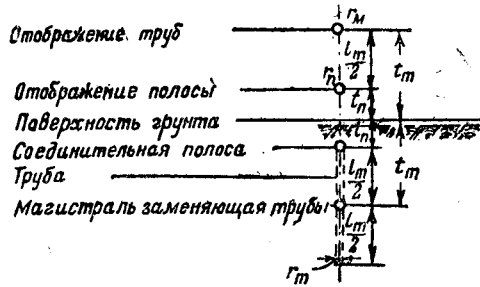


Рис. 1

При обычных углублениях длина ряда труб много больше расстояний между полосой и магистралью, а также их отображений, поэтому величины собственных и заносимых потенциалов могут быть определены по упрощенным формулам [3]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{сп} &= \frac{I_n \rho}{2\pi L} \ln \frac{L}{r_n}; & \varphi_{ст} &= \frac{I_m \rho}{2\pi L} \ln \frac{L}{r_m}; \\ \varphi_{зпт} &= \frac{I_n \rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{l_m}; & \varphi_{зтп} &= \frac{I_m \rho}{2\pi L} \ln \frac{2L}{l_m}; \\ \varphi_{зп,от} &= \frac{I_n \rho}{2\pi L} \ln \frac{L}{t_m + t_n}; & \varphi_{зт,п} &= \frac{I_m \rho}{2\pi L} \ln \frac{L}{t_m + t_n}; \\ \varphi_{зп,п} &= \frac{I_n \rho}{2\pi L} \ln \frac{L}{2t_n}; & \varphi_{зт,от} &= \frac{I_m \rho}{2\pi L} \ln \frac{L}{2t_m}. \end{aligned} \right\} (3)$$

где L — длина ряда труб (размеры в см); n — число труб в ряду; t_n — глубина заложения полосы; I_m — ток, стекающий в землю с труб (в амперах); I_n — ток, стекающий в землю с полосы; r_n — радиус соединительной полосы.

Потенциал соединительной полосы равен потенциалу труб, и поэтому из формул (2) и (3) легко получить соотношение между токами, стекающими с отдельных частей заземлителя:

$$A = \frac{I_m}{I_n} = \frac{\ln \frac{l_m(t_m + t_n)}{4t_n r_n}}{\ln \frac{l_m(t_m + t_n)}{4t_m r_m}}.$$

Если теперь исключить величину радиуса эквивалентной магистрали r_m и заменить радиус полосы r_n эквивалентной шириной b [4], то окончательно имеем:

$$A = \frac{ka}{l_m} \frac{\ln \frac{l_m(t_m + t_n)}{4t_n r_n}}{\ln \frac{2l_m}{r_m} - \ln \frac{2a^2}{l_m(t_m + t_n)}}. \quad (4)$$

С промерзанием или высыханием поверхностных слоев грунта соотношение между токами изменится соответственно изменению проводимостей почвы, прилегающей к полосе и трубе,

$$\frac{I_{m,x}}{I_{n,x}} = \frac{\rho_{n,x}}{\rho_{m,x}} \cdot \frac{I_m}{I_n} = A \frac{\rho_{n,x}}{\rho_{m,x}},$$

где $\rho_{n,x}$ — удельное сопротивление грунта, прилегающего к полосе после промерзания почвы в Ω см; $\rho_{m,x}$ — то же, но для грунта, прилегающего к трубам; $I_{n,x}$ — токи, стекающие в землю с полосы при промерзании почвы; $I_{m,x}$ — то же, но стекающие с труб.

Соответственно при промерзании почвы увеличивается потенциал полосы до величины

$$\varphi_{n,x} = \frac{I_{n,x} \rho_{n,x}}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{2t_n r_n} + \frac{I_{m,x} \rho_{m,x}}{2\pi L} \ln \frac{2L^2}{l_m(t_m + t_n)}.$$

Зная соотношение между токами и значение потенциала на заземлителе, можно определить влияние соединительной полосы на сопротивление заземления ряда трубочатых электродов. Для удобства определяем коэффициент использования полосы от добавления к ней трубочатых электродов, равный:

$$\eta = \frac{R_n}{R}, \quad (5)$$

где R — результирующая величина общего сопротивления заземления труб и полос в омах,

Сопротивление заземления одной полосы без учета влияния соседних заземлителей

$$R_n = \frac{\rho_{n,x}}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{2t_n r_n}.$$

Величина суммарного сопротивления заземления найдется по значению потенциала на полосе

$$R = \frac{\varphi_{n,x}}{I_{n,x} + I_{m,x}}.$$

Отсюда, подставляя в формулу (5) полученные значения сопротивлений R_n и R , а также величину потенциала $\varphi_{n,x}$, имеем:

$$\eta = \frac{1 + A \frac{\rho_{n,x}}{\rho_{m,x}}}{1 + A \frac{\ln \frac{L^2}{l_m(t_m + t_n)}}{\ln \frac{L^2}{2t_n r_n}}}. \quad (6)$$

Таблица 1

		Коэффициент A			
Глубина заложения t_n м	Длина трубы l_m м	Расстояние между трубами a в м			
		3	5	7	9
0,5	3,0	1,45	0,91	0,64	0,49
	2,5	1,18	0,72	0,51	0,38
	2,0	1,05	0,59	0,41	0,31
0,8	3,0	1,32	0,86	0,61	0,46
	2,5	1,09	0,71	0,52	0,38
	2,0	0,95	0,56	0,39	0,30

Таблица 2

		Коэффициент использования η							
Число труб, n	Длина труб l_m м	Глубина заложения полосы в м							
		$t_n = 0,5$				$t_n = 0,8$			
		Расстояние между трубами в м							
		3	5	7	9	3	5	7	9
2	3,0	3,42	2,48	2,09	1,84	2,11	1,67	1,47	1,35
	2,5	2,98	2,19	1,86	1,67	1,89	1,54	1,39	1,28
	2,0	2,67	1,99	1,70	1,54	1,72	1,42	1,29	1,22
5	3,0	3,14	2,37	2,03	1,80	1,93	1,59	1,42	1,32
	2,5	2,76	2,12	1,82	1,64	1,76	1,49	1,36	1,25
	2,0	2,51	1,94	1,68	1,52	1,64	1,38	1,27	1,20
10	3,0	2,99	2,31	1,94	1,78	1,84	1,55	1,40	1,31
	2,5	2,66	2,07	1,80	1,63	1,69	1,45	1,34	1,25
	2,0	2,46	1,90	1,66	1,51	1,58	1,35	1,25	1,19
20	3,0	2,87	2,25	1,96	1,76	1,77	1,52	1,38	1,29
	2,5	2,58	2,03	1,77	1,61	1,63	1,43	1,32	1,24
	2,0	2,38	1,88	1,64	1,50	1,55	1,33	1,24	1,19
50	3,0	2,75	2,20	1,93	1,74	1,69	1,48	1,35	1,28
	2,5	2,48	1,99	1,75	1,60	1,58	1,40	1,30	1,22
	2,0	2,31	1,85	1,62	1,49	1,50	1,32	1,22	1,18
100	3,0	2,68	2,16	1,90	1,72	1,64	1,45	1,34	1,27
	2,5	2,43	1,97	1,73	1,59	1,55	1,38	1,29	1,22
	2,0	2,27	1,83	1,61	1,48	1,47	1,30	1,22	1,17
200	3,0	2,61	2,13	1,88	1,71	1,61	1,43	1,32	1,25
	2,5	2,39	1,95	1,72	1,58	1,52	1,36	1,28	1,21
	2,0	2,23	1,81	1,60	1,47	1,45	1,29	1,21	1,17

Использование формул (4) и (6) очень просто, они избавляют от необходимости подсчета сопротивления заземления одной трубы, определения коэффициента экранирования между трубами, без учета влияния полосы, подсчета суммарного сопротивления ряда труб, нахождения коэффициента использования полосы как добавочного заземлителя к трубам, подсчета добавочного сопротивления, даваемого полосой, и подсчета результирующего сопротивления заземления при помощи параллельного сложения сопротивлений заземлений труб и полосы.

Кроме того, в этих формулах непосредственно учитываются факторы различия удельного сопротивления поверхностных и глубинных слоев грунта, имеющих место при промерзании или высыхании почвы.

В табл. 1 и 2 приведены подсчитанные величины коэффициентов A и η для наиболее распространенных конструкций заземлителя с учетом промерзания грунта для средних климатических условий центральной европейской части СССР

(т. е. для $\frac{\rho_{nx}}{\rho_{mx}} = 2,5$ при углублении верхнего конца трубы на 0,5 м и $\frac{\rho_{nx}}{\rho_{mx}} = 1,33$ при углублении на 0,8 м от поверхности грунта). На основании данных о величине A допустим пересчет коэффициента использования на различные условия промерзания или высыхания почвы по формуле:

$$\eta_x = \eta_1 \frac{1 + A \frac{\rho_{nx}}{\rho_{mx}}}{1 + A \frac{\rho_{n_1}}{\rho_{m_1}}}$$

Использование рекомендуемого нами способа расчета показало, что при отсутствии промерзания грунта он дает результаты, совпадающие с опытными данными. При учете промерзания грунта старый метод расчета, вполне естественно, давал некоторое завышение коэффициента использования. Объясняется это тем, что проводимость заземления труб, которые размещены в более электропроводном грунте, принималась завышенной, без учета экранирующего действия полос, а проводимость заземления полос, которые размещены в менее электропроводном грунте, принималась, искусственно заниженной с учетом двойного экранирования как труб на полосы, так и полос на трубы. Рекомендуемый способ от подобной погрешности освобожден и, следовательно, дает более точные результаты.

Литература

1. А. П. Беляков. Основания для проектирования заземлений электрических установок. ГОНТИ НКТП СССР, 1938, стр. 38.
2. Е. Н. Приклонский. Коэффициент использования трубчатых заземлителей, размещенных в ряд. "Электричество" № 11, 1940.
3. А. Л. Вайнер. Заземления. ОНТИ НКТП, стр. 22, 1938.
4. Ф. Оллендорф. Токи в земле. ГНТИ, стр. 39, 1932.

Приближенное измерение мощности и энергии в четырехпроводных цепях трехфазного тока

Инж. П. А. ПОПОВ
Новочеркасск

В целях экономии ваттметров и счетчиков электрической энергии в четырехпроводных цепях трехфазного тока можно применять схемы *приближенного* измерения, позволяющие обходиться обычными двухэлементными (или двумя однофазными) ваттметрами и счетчиками, вместо требующихся при точном измерении трехэлементных (или трех однофазных) ваттметров и счетчиков.

Мгновенная мощность четырехпроводной цепи трехфазного тока

$$p = \sum_k u_{k_0} i_k = u_{10} i_1 + u_{20} i_2 + u_{30} i_3, \quad (1)$$

где u_{k_0} — фазовые напряжения, i_k — линейные токи.

Обозначим сумму фазовых напряжений через u_0 :

$$u_0 = u_{10} + u_{20} + u_{30}$$

При симметрии системы токов и напряжений схемы приближенного измерения мощности не дают погрешностей. Поэтому целесообразно выражать погрешности схем приближенного измерения мощности в функции от величин, характеризующих степень асимметрии системы, т. е. от сил токов и напряжений нулевой и обратной последовательностей фаз.

Линейные и фазовые напряжения u_k и линейные токи i_k назовем величинами *нулевого* порядка.

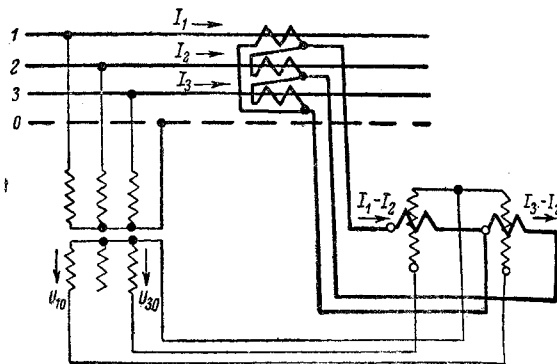


Рис. 1

Напряжения u^+ и ток i^+ прямой последовательности фаз будут, очевидно, тоже величинами нулевого порядка.

Силы тока обратной i^- и нулевой i^0 последовательностей фаз будут (при рабочих режимах системы) значительно меньше токов прямой последовательности фаз и поэтому могут быть названы величинами *первого* порядка.

При симметрии системы э. д. с. генераторов асимметрия напряжений получается вследствие неодинакового падения напряжения в отдельных фазах. Падение напряжения от генератора до потребителя значительно меньше величины самого напряжения и нулевая составляющая u^0 системы падений напряжения будет величиной *второго* порядка.

На основании сказанного, произведения $u_{k_0} i_k$, $u_{k_0} i_0$, $u^0 i_k$ и $u^0 i^0$ будут соответственно величинами нулевого, первого, второго и третьего порядков.

Обычная схема Арона с двухэлементным ваттметром дает вращающий момент, пропорциональный величине

$$(u_{10} - u_{20}) i_1 + (u_{30} - u_{20}) i_3 = p - u_{20} i_0, \quad (2)$$

и, следовательно, дает погрешность, равную величине $u_{20} i_0$, т. е. погрешность *первого* порядка.

Добавляя еще один трансформатор тока, получим хорошо известную схему (рис. 1) с вращающим моментом, пропорциональным величине

$$u_{10} (i_1 - i_2) + u_{30} (i_3 - i_2) = p - u_0 i_2, \quad (3)$$

т. е. схему с погрешностью *второго* порядка.

Схема Арона и схема рис. 1 могут служить для получения двух новых схем, дающих погрешность *третьего* порядка.

Если к схеме Арона присоединить еще один трансформатор тока, поставленный на нулевом проводе, полученная схема с нулевым трансформатором тока (рис. 2) будет иметь вращающий момент, пропорциональный

$$u_{12} \left(i_1 = \frac{1}{3} i_0 \right) + u_{32} \left(i_3 + \frac{1}{3} i_0 \right) = p + \frac{1}{3} u_0 i_0 = p + 3u_0^2 i_0, \quad (4)$$

где u^0 и i^0 — напряжение и ток нулевой последовательности фаз.

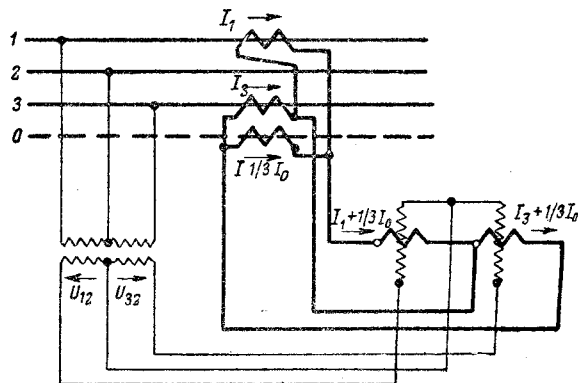


Рис. 2

Аналогично, если к схеме рис. 1 присоединить еще один трехфазный трансформатор напряжения, схема с нулевым трансформатором напряжения¹ (рис. 3) будет иметь вращающийся момент, пропорциональный

$$\left(u_{10} - \frac{1}{3}u_0\right)(i_1 - i_2) + \left(u_{30} - \frac{1}{3}u_0\right)(i_3 - i_2) = p + \frac{1}{3}u_0i_0 = p + 3u_0i_0^0 \quad (5)$$

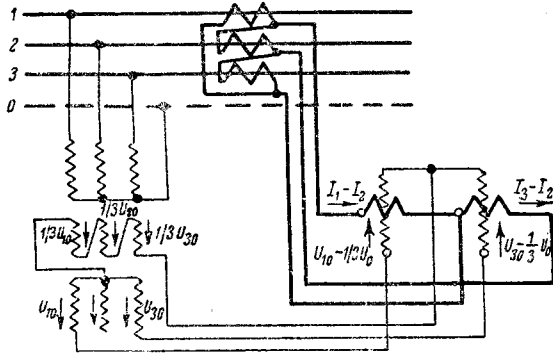


Рис. 3

Формулы (4) и (5) показывают, что схемы с нулевым трансформатором тока и с нулевым трансформатором напряжения дают погрешность, равную величине $\frac{1}{3}u_0i_0 = 3u_0i_0^0$, т. е. погрешность, равную мощности нулевых последовательностей фаз.

Для оценки величины полученной погрешности рассмотрим элементарный пример.

Положим, что ток в нулевом проводе i_0 равен 60% от тока первой фазы i_1 , а рабочее падение напряжения в первой фазе составляет 20% от фазового напряжения первой фазы u_{10} . Будем считать токи и напряжения чисто синусоидальными, — пренебрежем всеми гармоническими составляющими, кроме первой. Наконец, отвлечемся от чисто случайного различия в величинах сдвига по фазе между рассматриваемыми токами и напряжениями.

Ток нулевой последовательности

$$i_0 = \frac{1}{3}i_1 = \frac{1}{3} \cdot 0,60 i_1 = 0,20 i_1.$$

Этот ток вызовет в первой фазе падение напряжения нулевой последовательности, равное

$$\Delta u^0 = 0,20 \cdot 0,20 u_{10} = 0,04 u_{10}.$$

Для разбираемого случая схема Арона даст погрешность,

$$\Delta p = u_{20}i_2 \approx u_{10} \cdot 0,60 i_1 = 60\% p_1 = 20\% p,$$

где p — мощность всех трех фаз системы, приближенно принимаемая равной утроенной мощности первой фазы.

Схема рис. 1 даст погрешность

$$\Delta p = u_0i_2 = 3\Delta u^0i_2 \approx 3 \cdot 0,04 \cdot u_{10}i_1 = 12\% p_1 = 4\% p.$$

Наконец, схемы с нулевым трансформатором тока и напряжения дадут погрешность

$$\Delta p = \frac{1}{3}u_0i_0 = 3u_0i_0^0 = 3 \cdot 0,04 \cdot 0,20 p_1 = 2,4\% p_1 = 0,8\% p.$$

Таким образом даже при значительной асимметрии токов и больших падениях напряжения погрешности схем с нулевым трансформатором тока и нулевым трансформатором напряжения не выходят за пределы допустимой по нормам погрешности самих ваттметров и счетчиков.

При наличии в цепи гармонических составляющих погрешность обеих схем возрастет на величину мощности всех гармонических составляющих порядка кратного трем. Если, например, фазовое напряжение содержит третью гармонику с амплитудой, равной 5% от амплитуды основной гармоники, мощность третьей гармоники будет порядка $(0,05)^2 = 0,25\%$ от мощности первой гармоники, и на эту величину возрастет погрешность рассматриваемых схем.

При том же классе точности нулевых трансформаторов тока и напряжения, что и класс точности основных измери-

тельных трансформаторов, абсолютная погрешность в измерении величин $\frac{1}{3}i_0$ и $\frac{1}{3}u_0$ будет того же порядка, что и абсолютная погрешность в измерении величин i_k и u_{k0} . Поэтому нулевые трансформаторы тока и напряжения не увеличат существенно погрешностей этих схем.

В схеме с нулевым трансформатором тока коэффициент трансформации трансформатора тока, стоящего на нулевом проводе, должен быть в три раза больше коэффициента трансформации трансформаторов, стоящих на фазовых проводах.

Пользуясь стандартной серией трансформаторов тока, этому условию можно удовлетворить только для номинальных сил токов, равных 5, 25, 50, 100, 200, 500 и 1000 А (номинальные силы тока нулевого трансформатора тока будут соответственно 15, 75, 150, 300, 600, 1500 и 3000 А).

Поэтому в целях расширения возможности применения схемы с нулевым трансформатором тока желательно было бы иметь специальную серию трансформаторов тока для постановки на нулевом проводе, тем более что вследствие особых условий работы (малая токовая нагрузка, невысокое рабочее напряжение) эти трансформаторы могли бы иметь облегченную и удешевленную конструкцию.

В схеме с нулевым трансформатором напряжения требуется иметь трехфазный трансформатор напряжения с коэффициентом трансформации, в три раза большим коэффициента трансформации основных трансформаторов напряжения. Наиболее рациональным решением вопроса был бы выпуск трехфазных трансформаторов напряжения с дополнительной вторичной обмоткой, имеющей число витков, в три раза меньше, чем число витков основной вторичной обмотки.

Кроме четырехпроводных систем, схемы с нулевыми трансформаторами тока и напряжения можно с успехом применить в системах с глухим или неглухим заземлением нейтрали, в последнем случае в качестве заменителей схемы Арона.

К расчету мостов

Канд. техн. наук, доц. В. Н. МИЛЬШТЕЙН
Москва

В предыдущей статье¹ мы указали на возможность применения простых эквивалентных схем к расчету малорасбалансированных симметричных мостов.

В этой статье будет показано, что аналогичные эквивалентные схемы могут быть применены для расчета любых несимметричных мостов при условии их малой расбалансировки, и будут даны формулы для уточнения полученных результатов расчета в случае значительных расбалансировок.

Рассмотрим схему несимметричного моста (рис. 1, а). Пред-

¹ Журн. „Электричество“ № 7, 1940.

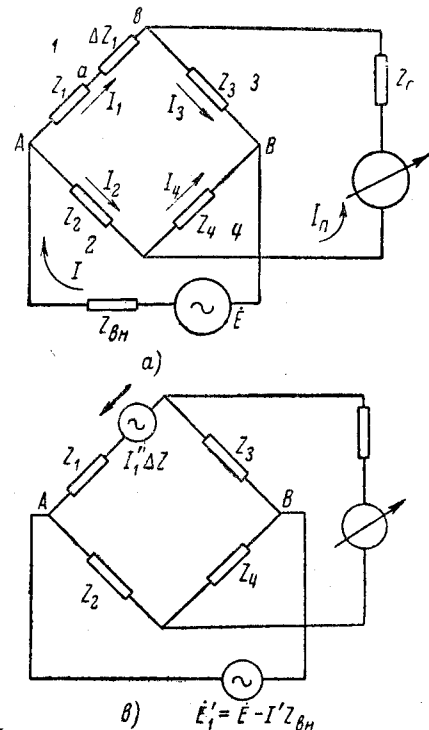


Рис. 1

¹ На схеме рис. 3 дополнительный трансформатор напряжения заменен дополнительной вторичной обмоткой на трансформаторе напряжения. Схема с нулевым трансформатором напряжения предлагается автором впервые.

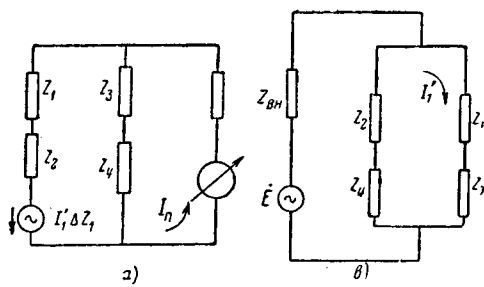


Рис. 2

положим, что этот мост расбалансирован незначительно, т. е. амплитуда тока I_n в приборе значительно меньше амплитуды тока в изменяющемся плече I (при балансе $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$). Нетрудно видеть, что ток в приборе не изменится, если между точками a и b включить вместо сопротивления ΔZ_1

$$i_{\tau} = \frac{\dot{E} \Delta Z_1 (Z_3 + Z_4) (Z_2 + Z_4)}{[Z_{\text{вн}}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)] [(Z_1 + Z_3)(Z_3 + Z_4 + Z_n) + (Z_3 + Z_4) Z_n] [1 + p]} = \frac{i_n}{1 + p}, \quad (2a)$$

э. д. с., равную $I_1 \Delta Z_1$, а между точками A и B включить вместо источника \dot{E} с внутренним сопротивлением $Z_{\text{вн}}$ э. д. с., равную $\dot{E}_1 = E - I Z_{\text{вн}}$ с внутренним сопротивлением, равным нулю. Значения обеих э. д. с. останутся в силу малой расбалансировки моста практически неизменными, если в полученной эквивалентной схеме заменить величины I_1 и I их значениями при балансе моста I_1 и I' . Таким образом эквивалентная схема будет иметь вид, изображенный на рис. 1, б, где I_1 и I' — значение токов I_1 и I при балансе моста. Ток в приборе не изменится, если отключить источник \dot{E}_1 от точек A и B . Эквивалентная схема приобретает вид, изображенный на рис. 2, а.

Величину тока I_1 в изменяющемся плече при балансе моста легко определить из соответствующей эквивалентной схемы б рис. 2.

Приближенное выражение для определения величины тока, протекающего в измерительном приборе, может быть написано непосредственно на основании рассмотрения эквивалентных схем а и б рис. 2.

$$i_n = \frac{\dot{E} (Z_2 + Z_4) \Delta Z_1 (Z_3 + Z_4)}{[Z_{\text{вн}}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)] [(Z_1 + Z_3)(Z_3 + Z_4 + Z_n) + (Z_3 + Z_4) Z_n]}. \quad (1)$$

Для оценки ошибки, получающейся при применении рассматриваемого метода, проще всего сопоставить формулу (1) с соответствующей точной формулой (2). В отличие от приближенного значения тока в приборе — I_n обозначим точное значение через I_{τ} :

$$i_{\tau} = \frac{\dot{E} [(Z_1 + \Delta Z_1) Z_4 - Z_2 Z_3]}{Z_n [(Z_1 + \Delta Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) Z_{\text{вн}} + (Z_1 + \Delta Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)] + Z_{\text{вн}} (Z_1 + \Delta Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4) + Z_2 Z_4 (Z_1 + \Delta Z_1 + Z_3) + (Z_1 + \Delta Z_1) Z_3 (Z_2 + Z_4)}. \quad (2)$$

Для этого преобразуем эту формулу, используя равенство $Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3$,

формуле (1), пользуясь при ее написании методом эквивалентных схем.

Однако часто бывает желательно установить чувствительность моста к значительным изменениям сопротивления, когда величина p значительна по сравнению с единицей

$$i_{\tau} = \frac{\dot{E} \Delta Z_1 (Z_3 + Z_4) (Z_2 + Z_4)}{\frac{(Z_3 + Z_4)(Z_2 + Z_4)}{Z_4} \{ [Z_{\text{вн}}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)] Z_n + Z_n Z_{\text{вн}} \Delta Z_1 + Z_n (Z_2 + Z_4) \Delta Z_1 + Z_{\text{вн}} (Z_1 + Z_3) (Z_3 + Z_4) + Z_2 Z_4 (Z_1 + Z_3) + Z_1 Z_3 (Z_2 + Z_4) + \Delta Z_1 (Z_3 + Z_4) Z_{\text{вн}} + \Delta Z_1 Z_2 Z_4 + \Delta Z_1 Z_3 (Z_2 + Z_4) \}}, \quad (2a)$$

откуда:

$$I_{\tau} = \frac{\dot{E} \Delta Z_1 (Z_3 + Z_4) (Z_2 + Z_4)}{[Z_{\text{вн}}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)] \times \left[K + \Delta Z_1 \frac{(Z_2 + Z_4)(Z_3 + Z_4)}{Z_4} \frac{Z_n Z_{\text{вн}} + Z_n (Z_2 + Z_4) + Z_{\text{вн}} (Z_3 + Z_4) + Z_2 Z_4 + Z_3 (Z_2 + Z_4)}{Z_{\text{вн}}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)} \right]}, \quad (26)$$

где

$$K = \frac{(Z_3 + Z_4)(Z_3 + Z_4)}{Z_4} \frac{[Z_{\text{вн}} [(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4 + Z_n) + Z_n (Z_3 + Z_4)] + Z_n (Z_1 + Z_3)(Z_3 + Z_4) + Z_2 Z_4 (Z_1 + Z_3) + Z_1 Z_3 (Z_2 + Z_4)]}{Z_{\text{вн}}(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + (Z_1 + Z_3)(Z_2 + Z_4)}.$$

Разделим знаменатель написанного выражения на выражение, стоящее перед квадратной скобкой, и затем примем во

формуле (1), разделив I_n на коэффициент $1 + p$, найденный из формулы (3).

внимание, что из условия баланса моста

$$\frac{Z_3}{Z_1} = \frac{Z_4}{Z_2} = \frac{Z_3 + Z_4}{Z_1 + Z_2}; \quad \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_3 + Z_4}{Z_1 + Z_3 + Z_3 + Z_4};$$

$$\frac{Z_n (Z_2 + Z_4) (Z_3 + Z_4)}{Z_4} = Z_n (Z_3 + Z_4) + Z_n (Z_1 + Z_2),$$

$$Z_2 (Z_3 + Z_4) = Z_4 (Z_1 + Z_2),$$

$$\frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3} \frac{Z_3 + Z_4}{Z_4} (Z_2 + Z_4) = Z_3 (Z_1 + Z_2).$$

Тогда, произведя соответствующие замены в выражении для k , получим:

$$k = [(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4 + Z_n) + (Z_3 + Z_4) Z_n].$$

Подставляя это выражение в равенство (26), получим:

где p на основании равенства (1) равно:

$$p = \frac{i_n}{\dot{E}} \left[Z_n \left(1 + \frac{Z_2 + Z_{\text{вн}}}{Z_4} \right) + Z_{\text{вн}} \left(1 + \frac{Z_3}{Z_4} \right) + Z_2 + Z_3 \left(1 + \frac{Z_2}{Z_4} \right) \right]. \quad (3)$$

Из равенства (2в) видно, что приближенное выражение для тока в приборе, получаемое изложенным выше методом эквивалентных схем, отличается от точного коэффициентом $1 + p$, где модуль комплексной величины p пропорционален модулю ΔZ_1 . Поэтому при малых ΔZ_1 $I_n \approx I_{\tau}$.

При расчете измерительных мостов обычно интерес представляет случай малых расбалансировок — малых ΔZ_1 . Поэтому расчет моста можно с большой точностью производить по

Преобразование n -лучевой звезды переменного тока при наличии взаимной индукции и э. д. с.

Инж. И. М. РАИКС

Рига

На рис. 1 представлена схема звезды, имеющая n зажимов 1, 2, 3... n , соединяющих ее с остальной — внешней цепью, и один внутренний узел o .

Обозначаем:

- Z_{ko} — кажущееся сопротивление ветви звезды ko ,
- $Z_{ko} = Z_{mo}$ — сопротивление индуктивной связи ветвей звезды ko и mo ,
- $Z'_{ko} = Z''_{ko}$ — сопротивление индуктивной связи ветви ko со внешними ветвями $A'B'$ и $A''B''$,
- E'_{ko} — э. д. с. ветви ko .

Данную схему звезды преобразуем в многоугольник с внутренним узлом и без внутренней связи ветвей (рис. 2). Элементом этого многоугольника приписываем индекс 0. Имеем 1:

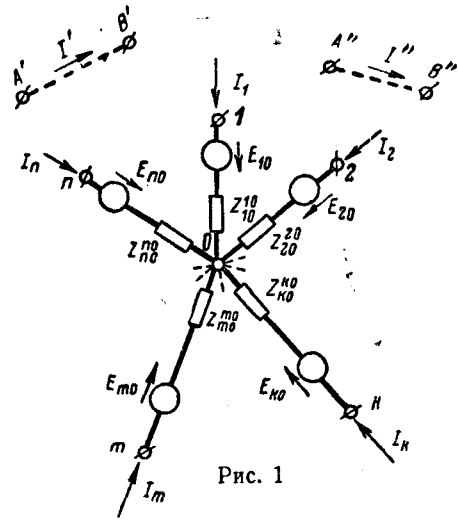


Рис. 1

$$D = \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & & 10 \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & & 20 \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} \\ ko & ko & & ko & & ko & & ko \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} \\ mo & mo & & mo & & mo & & mo \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} \\ no & no & & no & & no & & no \end{vmatrix}$$

$$Y_{km}^0 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & & 10 & 0 \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & & 20 & 0 \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ ko & ko & & ko & & ko & & ko & 0 \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 1 \\ mo & mo & & mo & & mo & & mo & 1 \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ no & no & & no & & no & & no & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (1a)$$

$$Y_{ko}^0 = -\frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & 1 \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & 1 \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & 1 \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & 1 \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & 1 \\ no & no & & no & & no & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$Y_{mo}^0 = -\frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 1 \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & 1 \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 1 \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & 1 \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 1 \\ no & no & & no & & no & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Для э. д. с. ветвей, сходящихся в любом зажиме k и внутреннем узле o , имеем уравнения:

$$\sum_{m=0}^{m=n} \dot{E}_{km}^0 Y_{km}^0 = -\frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{10} \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & \dot{E}_{10} \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{20} \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & \dot{E}_{20} \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{no} \\ no & no & & no & & no & \dot{E}_{no} \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (1b)$$

$$\sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{mo}^0 Y_{mo}^0 = -\frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{10} \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & \dot{E}_{10} \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{20} \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & \dot{E}_{20} \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{no} \\ no & no & & no & & no & \dot{E}_{no} \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Имеем всего $n+1$ уравнений для э. д. с. схемы рис. 2. Однако из них только n уравнений самостоятельны².

И для сопротивлений связи каждой из внешних ветвей имеем по n самостоятельных уравнений. Для ветви $A'B'$ имеем:

$$\sum_{m=0}^{m=n} Z'_{km} Y_{km}^0 = -\frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & Z'_{10} \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & Z'_{10} \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & Z'_{20} \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & Z'_{20} \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{no} & Z'_{no} \\ no & no & & no & & no & Z'_{no} \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (1c)$$

² Внутренний узел o схемы рис. 2 при этом имеет тот же потенциал, что и в звезде рис. 1. Если отказаться от этого условия, мы могли бы ввести во все ветви, сходящиеся в точку o (рис. 2), равные и одинаково направленные э. д. с. произвольной величины (см. Д. А. Городский, «Преобразование треугольника электродвижущих сил в эквивалентную звезду». «Электричество» № 19, 1936). Последнее условие уменьшает число уравнений для э. д. с. на единицу, так что мы имели бы при произвольном потенциале внутреннего узла $n-1$ самостоятельных уравнений, отличающихся от уравнений (1b).

¹ См. статью автора К преобразованию цепей переменного тока, содержащих взаимную индукцию и э. д. с., «Электричество» № 2, 1941, уравнения (4a) — (4f).

$$\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0} Y_{m0} = -\frac{1}{D} \left(\begin{array}{cccc} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & Z'_{10} \\ Z_{20} & Z_{20} & \dots & Z_{20} & \dots & Z_{20} & Z'_{20} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & Z'_{no} \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 0 \end{array} \right) \quad (1c)$$

При переходе от схемы звезды рис. 1 к схеме многоугольника рис. 2 в ветвях внешней связи $A'B'$ и $A''B''$, необходимо ввести добавочные элементы. Добавочная э. д. с. ветви $A'B'$:

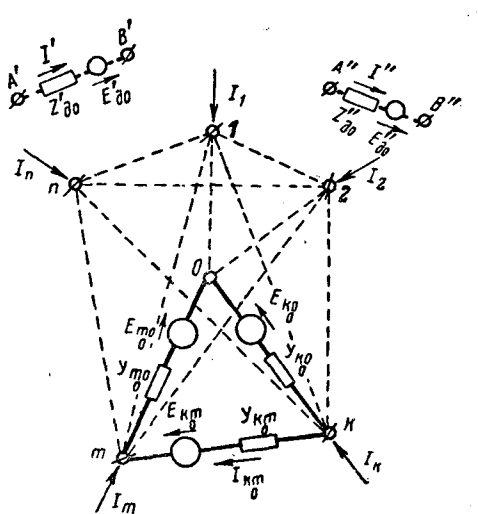
$$\dot{E}'_{\partial_0} = \frac{1}{D} \left(\begin{array}{cccc} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{10} \\ Z_{20} & Z_{20} & \dots & Z_{20} & \dots & Z_{20} & \dot{E}_{20} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & \dot{E}_{no} \\ Z'_{no} & Z'_{20} & \dots & Z'_{m0} & \dots & Z'_{no} & 0 \end{array} \right) + \sum_{km} Z'_{km} \dot{E}_{km} Y_{km} \quad (1d)$$

Добавочное сопротивление ветви $A'B'$ —

$$Z'_{\partial_0} = \frac{1}{D} \left(\begin{array}{cccc} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & Z'_{10} \\ Z_{20} & Z_{20} & \dots & Z_{20} & \dots & Z_{20} & Z'_{20} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & Z'_{no} \\ Z'_{10} & Z'_{20} & \dots & Z'_{m0} & \dots & Z'_{no} & 0 \end{array} \right) + \sum_{km} Z'_{km} Y_{km} \quad (1e)$$

Добавочное сопротивление взаимной связи ветвей $A'B'$ и $A''B''$ —

$$Z''_{\partial_0} = \frac{1}{D} \left(\begin{array}{cccc} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & Z''_{10} \\ Z_{20} & Z_{20} & \dots & Z_{20} & \dots & Z_{20} & Z''_{20} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{m0} & \dots & Z_{no} & Z''_{no} \\ Z'_{10} & Z'_{20} & \dots & Z'_{m0} & \dots & Z'_{no} & 0 \end{array} \right) + \sum_{km} Z'_{km} Z''_{km} Y_{km} \quad (1f)$$



Знак \sum_{km}^0 распространяется на все ветви многоугольника

рис. 2. Для ветви $A''B''$ получим подобные выражения, причем $Z'_{\partial_0} = Z''_{\partial_0}$. Ветви многоугольника рис. 2, примыкающие к внутреннему узлу 0, можем рассматривать как схему звезды без внутренней связи. Чтобы освободиться от внутреннего узла, преобразуем эту звезду в многоугольник, элементы которого обозначаем Y_{km} , E_{km} , Z'_{km} , Z''_{km} и соответствующие добавочные элементы внешних ветвей E'_{∂_1} , Z'_{∂_1} и т. д. Имеем³:

$$Y_{km} = \frac{Y_{ko} Y_{mo}}{\sum_{m=1}^m Y_{m0}} \quad (2a)$$

$$\sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{km} Y_{km} = \sum_{m=1}^{m=n} (\dot{E}_{ko} - \dot{E}_{mo}) Y_{km} = \dot{E}_{ko} Y_{ko} - \frac{\sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{mo} Y_{m0}}{\sum_{m=1}^m Y_{m0}} Y_{ko} \quad (2b)$$

$$\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{km} Y_{km} = \sum_{m=1}^{m=n} (Z'_{ko} - Z'_{mo}) Y_{km} = Z'_{ko} Y_{ko} - \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{mo} Y_{m0}}{\sum_{m=1}^m Y_{m0}} Y_{ko} \quad (2c)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}'_{\partial_1} &= \sum_{km} (\dot{E}_{km} - \dot{E}_{ko} + \dot{E}_{mo}) Z'_{km} Y_{km} = \\ &= \sum_{km} Z'_{km} \dot{E}_{km} Y_{km} - \sum_{k=1}^k \dot{E}_{ko} \sum_{m=1}^{m=n} Z'_{km} Y_{km} = \\ &= \sum_{km} Z'_{km} \dot{E}_{km} Y_{km} - \sum_{m=1}^{m=n} Z'_{mo} \dot{E}_{mo} Y_{m0} + \\ &+ \sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{mo} Y_{m0} \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{mo} Y_{m0}}{\sum_{m=1}^m Y_{m0}} \quad (2d) \end{aligned}$$

$$Z'_{\partial_1} = \sum_{km} Z'_{km} Y_{km} - \sum_{m=1}^{m=n} Z'_{mo} Y_{m0} + \frac{\left(\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{mo} Y_{m0} \right)^2}{\sum_{m=1}^m Y_{m0}} \quad (2e)$$

Рис. 2

³ См. указанную в сноске 1 статью автора, уравнения (5a) — (5d).

$$Z'_{\partial_1} = \sum_{km} Z'_{km} Z''_{km} Y_{km} - \sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0} Z''_{m0} Y_{m0} + \sum_{m=1}^{m=n} Z''_{m0} Y_{m0} \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0} Y_{m0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0}} \quad (2f)$$

Знак \sum_{km} распространяется на все ветви многоугольника без внутреннего узла.

В результате последнего преобразования получается многоугольник рис. 3 без внутреннего узла и без внутренней связи, но с двумя параллельными ветвями между каждой парой зажимов. Замещая параллельные ветви ординарными, получаем эквивалентный многоугольник рис. 4. Для элементов последнего имеем уравнения:

$$Y_{km} = Y_{km_0} + Y_{km_1} = Y_{km_0} + \frac{Y_{ko_0} Y_{mo_0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0_0}},$$

$$\sum_{n=1}^{m=n} \dot{E}_{km} Y_{km} = \sum_{m=1}^{m=n} (\dot{E}_{km_0} Y_{km_0} - \dot{E}_{km_1} Y_{km_1}) = \sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{m0_0} Y_{m0_0} \frac{\sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{m0_0} Y_{m0_0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0_0}} - \frac{\sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{m0_0} Y_{m0_0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0_0}} Y_{ko_0}.$$

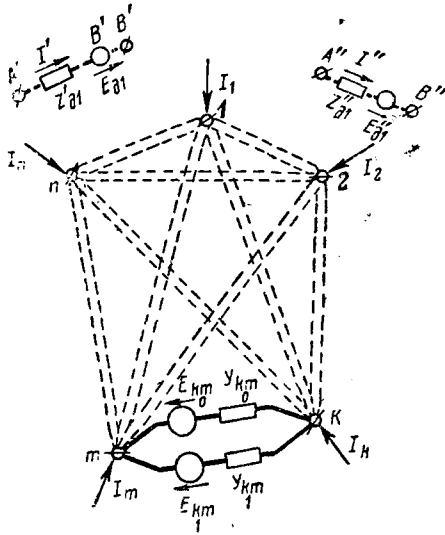


Рис. 3

$$Y_{km} = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ 10 & 10 & & 10 & & 10 & & 10 & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ 20 & 20 & & 20 & & 20 & & 20 & \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ ko & ko & & ko & & ko & & ko & \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 1 \\ mo & mo & & ko & & ko & & ko & \\ \dots & \dots & & \dots & & \dots & & \dots & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{ko} & \dots & Z_{mo} & \dots & Z_{no} & 0 \\ no & no & & no & & no & & no & \\ 0 & 0 & \dots & 1 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 \end{vmatrix} - \frac{1}{D} \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{no} & 1 \\ 10 & 10 & & 10 & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{no} & 1 \\ 20 & 20 & & 20 & \\ \dots & \dots & & \dots & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{no} & 1 \\ no & no & & no & \\ \dots & \dots & & \dots & \\ Z_{10} & Z_{20} & \dots & Z_{no} & 1 \\ no & no & & no & \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (4a)$$

Имеем $(n-1)$ подобных уравнений для э. д. с. эквивалентного многоугольника. Для каждой ветви внешней связи имеем по $n-1$ уравнений следующего вида:

$$\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{km} Y_{km} = \sum_{m=0}^{m=n} Z'_{km} Y_{km} - \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0} Y_{m0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0}} Y_{ko_0}.$$

Добавочные элементы ветви $A'B'$

$$\dot{E}'_{\partial} = \dot{E}_{\partial_1} + \sum_{km} (Z'_{km} \dot{E}_{km} Y_{km} - Z'_{km_0} \dot{E}_{km_0} Y_{km_0} - Z'_{km_1} \dot{E}_{km_1} Y_{km_1}) = \sum_{km} Z'_{km} \dot{E}_{km} Y_{km} - \sum_{km} Z'_{km_0} \dot{E}_{km_0} Y_{km_0} + \sum_{m=1}^{m=n} \dot{E}_{m0_0} Y_{m0_0} \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0_0} Y_{m0_0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0_0}}, \quad (3d)$$

$$Z'_{\partial} = \sum_{km} Z'^2_{km} Y_{km} - \sum_{km} Z'^2_{km_0} Y_{km_0} + \sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0_0} Y_{m0_0} \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0_0} Y_{m0_0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0_0}}, \quad (3e)$$

$$Z''_{\partial} = \sum_m Z'_{km} Z''_{km} Y_{km} - \sum_{km} Z'_{km_0} Z''_{km_0} Y_{km_0} + \sum_{m=1}^{m=n} Z''_{m0_0} Y_{m0_0} \frac{\sum_{m=1}^{m=n} Z'_{m0_0} Y_{m0_0}}{\sum_{m=1}^{m=n} Y_{m0_0}}. \quad (3f)$$

Аналогичны выражения для добавочных элементов ветви $A''B''$, причем $Z''_{\partial} = Z'_{\partial}$.

Уравнения (3a) — (3f) являются общими уравнениями для сокращения внутреннего узла цепи без внутренней связи.

Подставляя в уравнения (3a) — (3f) значение элементов цепи рис. 2 из уравнений (1a) — (1b) и принимая во внимание добавочные элементы уравнений (1d) — (1f), получаем:

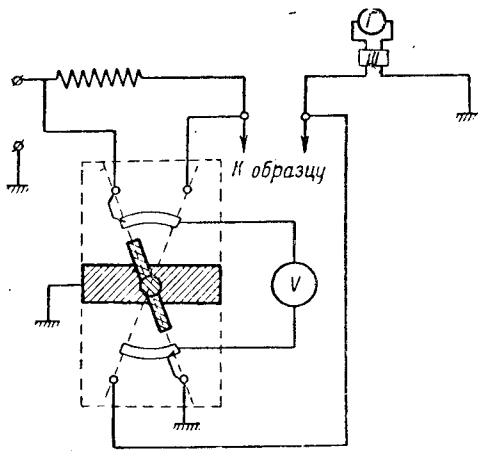


Рис. 2

ствительности оно равно $8,25 \cdot 10^6 \Omega$, как это показывает несложный расчет. Разница заметная. Если же измеряемое сопротивление еще меньше, то ошибка значительно возрастет.

Проект нового стандарта на методы электрических испытаний пластмасс рекомендует для устранения этой ошибки при измерении удельных сопротивлений образцов с большой проводимостью замыкать накоротко защитное сопротивление. Но от этого следует отказаться по следующим причинам.

Замыкание накоротко защитного сопротивления создает опасность порчи шунта, гальванометра или источника тока в случае пробоя образца или случайного к. з. Затем, далеко не во всех случаях при замкнутом защитном сопротивлении получится верный результат, так как шунт с гальванометром представляет иногда значительное сопротивление по сравнению с сопротивлением образца.

Например, сопротивление универсального шунта фирмы Гартман и Браун (применяемого в наших установках) вместе с гальванометром при всех коэффициентах шунта, кроме единицы, практически составляет $10\,000 \Omega$.

Теперь представим себе такой случай, часто встречающийся в практике измерений пластмасс. При замкнутом накоротко защитном сопротивлении измеряется объемное сопротивление образца при напряжении 1000 V . Гальванометр с динамической постоянной 10^{-9} A/mm при коэффициенте шунта $0,00001$ дал отклонение 250 mm . Вычисленное сопротивление образца равно $40\,000 \Omega$, тогда как в действительности оно составляет $40\,000 - 10\,000 = 30\,000 \Omega$. Следовательно, несмотря на закорачивание защитного сопротивления, ошибка получается значительная. Схема, применяемая нами, исключает возможность ошибок, так как при измерении сопротивления образцов с большой проводимостью вольтметр подключается непосредственно к электродам, между которыми измеряется сопротивление. Благодаря тому, что вольтметр — электростатический и сопротивление его настолько велико, что оно не вызывает отклонения гальванометра даже при любых положениях шунта, сопротивление образца определяется без ошибки. Однако в данном случае можно применить и вольтметр, потребляющий ток. Надо только из полученного отклонения гальванометра вычесть отклонение, вызываемое вольтметром. Например, при динамической постоянной гальванометра 10^{-9} A/mm , напряжении 1000 V и сопротивлении вольтметра $2 \text{ M}\Omega$ гальванометр будет давать при коэффициенте шунта $0,00001$ отклонение 5 mm

($\alpha = \frac{En}{Rc} = \frac{1000 \cdot 10^{-5}}{(2 \cdot 10^6) \cdot 10^{-9}} = 5 \text{ mm}$), которое и следует вычитать из общего отклонения гальванометра.

Для возможности подключения вольтметра, смотря по надобности, или к полюсам источника тока или непосредственно к образцу нами применяется переключатель (рис. 3), предложенный и сконструированный автором. Отличительной особенностью этого переключателя являются заземленные металлические прокладки, вставленные между контактами различной полярности, как подвижными, так и неподвижными. При отсутствии этих прокладок ток, проходящий по изолирующим частям переключателя, проходил бы частично непосредственно в землю, а частично через гальванометр, что искажает измерения.

Примененные прокладки отводят этот ток в землю, не давая ему попасть в гальванометр.

При подключении переключателя надо предусмотреть, чтобы никакие части переключателя (в том числе и изолирующие), кроме заземленной металлической прокладки, не касались деревянных или других неметаллических частей. В противном случае, в гальванометр может попасть постоянный ток.

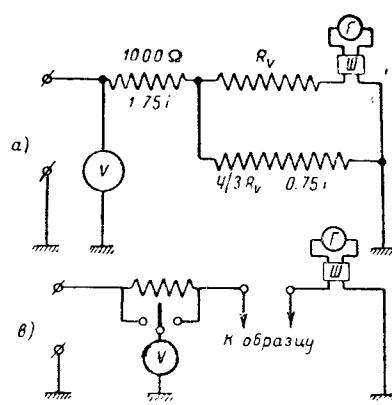


Рис. 3

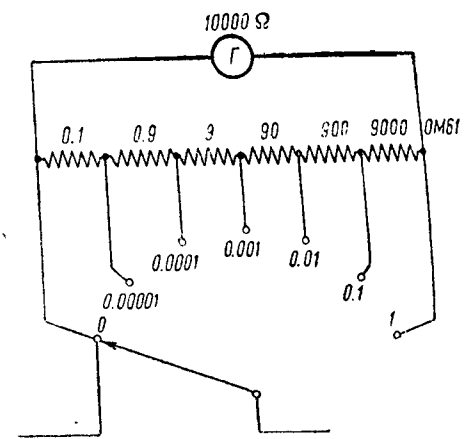


Рис. 4

При измерении сопротивлений образцов с большой проводимостью защитное сопротивление в $1 \text{ M}\Omega$ поглощает значительную долю напряжения, и проект нового стандарта рекомендует применять в этих случаях защитное сопротивление $100\,000 \Omega$. Более целесообразно сделать защитное сопротивление ступенчатым, например, сделать ступени $10^4, 10^5$ и $10^6 \Omega$ и в зависимости от величины измеряемого сопротивления вводить ту или иную ступень защитного сопротивления с тем, чтобы образец мог получить требуемое напряжение. Но при этом следует иметь в виду, что не ко всякому образцу можно приложить напряжение 1000 V . Некоторые материалы даже при напряжении 200 V заметно нагреваются, что недопустимо, так как сопротивление образцов должно быть измерено при комнатной температуре. Исходя из этого, проект нового стандарта дает возможность применять напряжения, начиная со 100 V .

Теперь зададимся целью определить, при каком коэффициенте шунта и каком отклонении гальванометра можно практически безошибочно измерять, скажем, объемное сопротивление образца, не переключая электростатический вольтметр на электроды образца. Допустим (рис. 3, а), что защитное сопротивление равно $10\,000 \Omega$, сопротивление шунта с гальванометром (в отношении внешней цепи) тоже $10\,000 \Omega$, динамическая постоянная гальванометра $s = 10^{-9} \text{ A/mm}$, а максимально допустимую потерю напряжения в защитном сопротивлении и шунте с гальванометром примем 10 V , что по отношению к 1000 V даст погрешность 1% . Потеря напряжения в защитном сопротивлении (рис. 3, а) будет $(1,75 i) \cdot 10^4 \text{ V}$, а в шунте с гальванометром — $i \cdot 10^4 \text{ V}$. Суммарная потеря напряжения составит $2,75 \cdot 10^4 i = 10 \text{ V}$ и $i = 3,64 \cdot 10^{-4} \text{ A}$. Если допустить максимальное отклонение гальванометра по шкале $\alpha = 364 \text{ mm}$, то коэффициент

шунта $n = \frac{ac}{i} = \frac{364 \cdot 10^{-9}}{3,64 \cdot 10^{-4}} = 0,001$.

Следовательно, если отклонение гальванометра при $n = 0,001$ не превышает 364 mm , то потеря напряжения вне образца составляет не более 1% от общего напряжения и переключать вольтметр на электроды образца нет смысла. Если же отклонение гальванометра при $n = 0,001$ более 364 mm , то измерение придется производить при $n = 0,0001$ или $0,00001$, а вольтметр переключить на клеммы образца, так как потеря напряжения вне образца будет более 10 V , а ошибка более 1% .

Приведенный расчет будет достаточно точен для образца, выдержанного в атмосфере комнатной влажности (65%), так как в этом случае поверхностный ток между нижним электродом и охранным кольцом незначителен в сравнении с объемными токами. Для образца, выдержанного в атмосфере 100% относительной влажности, поверхностный ток может достигнуть большой величины и сделать приведенный расчет неверным. В сомнительных случаях лучше, конечно, подключить вольтметр к электродам образца. Вместо шунта фирмы Гартман и Браун можно применить более простой шунт (рис. 4).

При этой схеме шунта переключатель вольтметра можно сделать проще (рис. 3, б), без всяких предохранительных заземленных прокладок. Переключатель нормально включен влево. Если же потеря напряжения в защитном сопротивлении значительна, переключатель ставится вправо.

Нужны новые инструкции по эксплуатации электрооборудования

ОТ РЕДАКЦИИ

«Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» предусматривают необходимость целого ряда подробно разработанных инструкций по эксплуатации разных видов оборудования. Известно, что некоторые из существующих инструкций устарели и требуют быстрой замены новыми инструкциями, учитывающими передовой производственно-технический опыт эксплуатации электрооборудования, на что уже указывалось в журнале «Электричество». Однако замена старых и разработка новых инструкций по эксплуатации производится наркоматом электростанций СССР медленно и с большим отставанием от запросов практики. Об этом свидетельствуют помещаемые ниже письмо техника И. С. Егорова с одной из подстанций Донэнерго и ответ на это письмо инж. Л. М. Шницера (Московский трансформаторный завод им. Куйбышева).

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ

Уважаемый товарищ редактор!

Очень прошу Вас ответить мне на один вопрос из практической электротехники.

Я работаю дежурным электротехником подстанции Донэнерго. В инструкции по эксплуатации силовых трансформаторов¹ написано, что при включении воздушного дутья трансформаторов «вентиляторы должны пускаться тогда,

¹ Эксплуатация силовых трансформаторов. Электронек «Оргрэс», 1939.

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».

Мне и почти всему нашему персоналу подстанции неясно, что тут за теория и почему при нагрузке выше номинальной, независимо от температуры масла, нужно обязательно включать дутье.

Если можно, пожалуйста, ответьте подробнее и поспее, а то излишнее включение дутья вызывает большой расход электроэнергии.

И. С. ЕГОРОВ

ОТВЕТ ТОВ. И. С. ЕГОРОВУ

Недоуменный вопрос т. Егорова совершенно естественно должен возникать и возникает у всякого работника эксплуатации, не получившего по этому вопросу специального разъяснения.

Это обстоятельство характеризует в достаточной мере недоброкачественность выпущенной в свое время Главэнерго инструкции ЭО-12 «Эксплуатация силовых трансформаторов», на что, кстати, я обратил внимание в № 9 «Электричество» за 1940 г., где я писал, что эта инструкция «оставляет желать лучшего в отношении четкости и ясности изложения, тщательности редакции и просто стилистической обработки».

В частности, я там коснулся цитируемых т. Егоровым положений о пуске и остановке вентиляторов воздушного дутья и подчеркнул, что «ценность этих «сентенций», приведенных вне связи с графиком нагрузки, сомнительна». Письмо т. Егорова это подтверждает.

Перейдем к существу вопроса. Оно состоит в том, что в эксплуатации больше всего следует опасаться чрезмерного перегрева обмотки, а при кратковременных перегрузках невозможно по температуре масла судить о температуре обмотки.

Действительно: 1. Постоянная времени обмотки в 30—40 раз меньше постоянной времени масла и поэтому соответствующий данной нагрузке перегрев обмотки над маслом устанавливается в 30—40 раз быстрее, чем перегрев масла над воздухом.

Так например, спустя 20—25 мин после включения холодного трансформатора на номинальную нагрузку перегрев масла над воздухом еще далек от установившегося и составляет всего 6—7°, между тем как перегрев обмотки над маслом уже полностью установился и составляет 25°.

2. Далее, установившийся перегрев обмотки над маслом пропорционален приблизительно квадрату нагрузки.

3. Допустим теперь, что в некоторый момент трансформатору дается перегрузка в 75% (я намеренно утрирую). Спустя 20 мин, перегрев масла над воздухом возрастет незначительно, а перегрев обмотки над маслом за это время успеет полностью установиться соответственно новой нагрузке и составит: $25 \cdot (1,75)^2 = 77^\circ$.

4. Таким образом при нагрузках не выше номинальной и при температуре масла 55° температура обмотки составит самое большее $55 + 25 = 80^\circ$.

При перегрузке же на 75%, например, даже при температуре масла 30°, температура обмотки весьма быстро подымется до $30 + 77 = 107^\circ$. А если к тому еще, исходя из низкой температуры масла, выключить дутье и продолжать перегрузку больше до достижения маслом температуры 55°, то температура обмотки составит уже $55 + 77 = 132^\circ$.

Мы выбрали пример большой кратковременной перегрузки для того только, чтобы разительнее выявить разницу между температурой масла и температурой обмотки. Но разумеется, отставание в нагреве масла имеет место и при меньших кратковременных перегрузках.

Резюмируя, следует отметить:

Инструкция ЭО-12 рекомендует при кратковременных перегрузках включать дутье независимо от температуры масла потому, что при кратковременных перегрузках невозможно судить по температуре масла о температуре обмотки, между тем как последняя может оказаться довольно значительной и недопустимой с точки зрения приемлемого износа изоляции.

Я должен, однако, в заключение прибавить, что в том виде, как они изложены в инструкции ЭО-12, вышеупомянутые положения о пуске и остановке вентиляторов цели своей не достигают. Вне связи с графиком нагрузки они лишены смысла. Если график нагрузки (как в большинстве случаев бывает) колеблющийся, то в зависимости от характера графика включение вентиляции может оказываться вовсе необязательным даже при перегрузках.

Инструкция ЭО-12 должна быть исправлена и дополнена руководящими указаниями о методике ведения учета износа, дающей возможность в каждом конкретном случае оценить, чего стоит с точки зрения износа та или иная перегрузка как при включенном, так и при выключенном дутье.

Инж. Л. М. ШНИЦЕР

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

15-я глава „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“

Канд. техн. наук М. И. ЗЕМЛЯНОЙ
Всесоюзный электротехнический институт

Надежная и безаварийная работа электродвигателей собственного расхода в большой степени определяет экономичную и надежную работу электрических станций. В практике эксплуатации известны случаи, когда вследствие останова двигателей собственного расхода имели место отключения генераторов, а в отдельных случаях и останова всей станции.

Следует признать, что эксплуатация электродвигателей на электростанциях поставлена еще неудовлетворительно, и на сегодня процент аварийности двигателей собственного расхода весьма высок.

В «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей» даны основные указания по эксплуатации и ремонту электродвигателей. Детальные указания должны быть, как это и предусматривается «Правилами», приведены в соответствующих инструкциях.

Параграф 494 «Правил» требует, чтобы электродвигатели были снабжены защитой в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите».

Выполнение требований этого параграфа имеет весьма важное значение, так как до настоящего времени большое количество аварий с электродвигателями (до 50%) происходит вследствие неправильной работы защиты. Поэтому на всех электростанциях должны быть проведены работы по приведению защиты электродвигателей в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите».

Быстрое проведение ремонта, возможность быстрой замены отдельных частей электродвигателя, а в иных случаях и быстрая смена самого двигателя имеют существенное значение для скорейшей ликвидации аварий. Поэтому параграф 495 требует:

«Территориальное расположение электродвигателей должно допускать производство осмотра и ремонта на месте установки. При невозможности производства ремонта электродвигателей на месте их установки должны быть предусмотрены приспособления для снятия и транспортировки их в ремонтную мастерскую или на специальную площадку».

Для предотвращения несчастных случаев с обслуживающим персоналом от поражения током при пробое изоляции обмотки электродвигателя параграф 496 «Правил» требует:

«Корпусы электродвигателей, пусковых и регулирующих устройств должны быть заземлены согласно правилам устройства заземлений».

Понятно, что, помимо выполнения устройства заземления, необходим еще периодический контроль за его состоянием во время эксплуатации.

Параграфы 501—509 дают основные указания по эксплуатации электродвигателей.

Параграф 501 указывает на необходимый контроль за электродвигателем в эксплуатации.

Периодически должны контролироваться: нагрузка электродвигателя, нагрев подшипников, температура входящего и выходящего воздуха для крупных электродвигателей и нагрев железа.

Правила требуют, чтобы величина сопротивления изоляции обмоток электродвигателей (без кабелей) была не ниже $1 \text{ M}\Omega$ на 1 kV рабочего напряжения электродвигателя для обмотки статора и $0,5 \text{ M}\Omega$ для обмотки ротора.

Наибольший допустимый ток электродвигателя при температуре охлаждающего воздуха $+35^\circ \text{C}$ и при отличных от нее определяется испытанием на нагрев.

При отсутствии данных испытаний за допустимый ток электродвигателя принимается ток, обозначенный на табличке.

Согласно параграфа 506 при испытании двигателя на нагрев должен быть определен максимальный перепад температур между входящим и выходящим воздухом. Этот перепад в процессе эксплуатации должен проверяться, и в случае его превышения должны быть приняты меры к проверке состояния электродвигателей и его вентиляционных устройств.

Кроме электрических измерений, параграф 508 предусматривает измерения вибраций электродвигателей. При этом величина вибрации электродвигателя при нормальной работе, измеренная вибрографом или виброметром, не должна превышать $0,06 \text{ mm}$.

В этом же параграфе указывается, что разбег электродвигателя в осевом направлении не должен превышать $2\text{—}4 \text{ mm}$, неравномерность воздушного зазора (между железно-го пространства) не должна превосходить 10% .

Параграфы 510, 511 и 512 определяют сроки и проведение текущих и капитальных ремонтов электродвигателей. Эти параграфы предусматривают:

а) Капитальный ремонт электродвигателей с выемкой ротора один раз в год; б) текущий осмотр (осмотр, чистка и продувка) наиболее ответственных электродвигателей, или работающих в тяжелых условиях, — четыре раза в год; остальных электродвигателей — два раза в год. Сроки текущих ремонтов электродвигателей, работающих в запыляемых помещениях, устанавливаются в зависимости от местных условий». Для этих электродвигателей параграф 498 предусматривает очистку охлаждаемого воздуха через фильтры.

Правильная эксплуатация и надлежащий ремонт электрических двигателей собственных нужд являются весьма важными и необходимыми условиями надежной работы электростанций, а в связи с этим и всей промышленности. «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» дают те основные указания, выполняя которые, можно достичь надежной и экономичной работы двигателей собственных нужд.

Новый ГОСТ на электрические машины

Инж. Н. П. ГАЛОЧКИН
Москва

17 февраля 1941 г. Всесоюзный комитет стандартов при СНК Союза ССР утвердил государственный общесоюзный стандарт (ГОСТ) «Машины электрические» (основной стандарт) и установил срок его введения в основных частях с 25 февраля 1941 г. Новый ГОСТ 183—41 заменяет ОСТ 20020.

Проект утвержденного ГОСТ был внесен в ВКС наркоматом электропромышленности СССР. Разработан ГОСТ заводом «Электросила» им. Кирова. Для обсуждения персонального проекта стандарта в декабре прошлого года в Ленинграде на заводе «Электросила» им. Кирова была созвана широкая техническая конференция из представителей всех основных заводов электромашиностроения («Электросила» им. Кирова, ХЭМЗ, ХТГЗ, «Динамо» им. Кирова, ЯЭМЗ и др.), представителей наркоматов (наркомат электростанций, наркомат военно-морского флота, наркомат текстиль и др.), представителей проектных организаций и научно-исследовательских институтов. В работе конференции принимали

участие видные специалисты в области электромашин — проф. В. А. Гольвинский, шеф-электрик завода «Электросила» им. Кирова инж. Р. А. Лютер, инж. Б. М. Гончаренко (авторы проекта), проф. М. П. Костенко, проф. А. Е. Алексеев, проф. А. Н. Ларионов и др.

Три основных части старого ОСТ: 1) определения и общие положения; 2) предписания стандарта и 3) испытания машин, в новом ГОСТ дополнены четвертой частью — о водах электрических машин.

Новый стандарт не распространяется на машины мощностью, меньшей 50 W . Стандартные условия работы машин сохранены прежние: высота над уровнем моря не более 1000 m , номинальная температура охлаждающего воздуха $+35^\circ$, номинальная температура охлаждающей воды при замкнутом цикле вентиляции $+25^\circ$.

Однако предусмотрена возможность указания номинальной мощности машины для любой заданной температуры охлаж-

дающего воздуха в диапазоне от +25 до +45°, что позволяет более точно выбирать мощности машин для конкретных условий работы.

Значительно переработан и дополнен раздел стандарта, содержащий определения.

Так например, практически установившаяся температура согласно новому ГОСТ определяется отсутствием изменения температуры машины больше чем на 1° в течение часа.

Практическая симметрия трехфазной системы токов. Система считается симметричной, если при разложении ее на системы векторов прямой и обратной последовательности фаз оказывается, что величины векторов обратной последовательности не превышает 5% величины векторов прямой последовательности фаз.

Для определения в старом ГОСТ — «перегрузка по напряжению и перегрузка по току» (§ 10), а также «переходящая перегрузка» (§ 11) заменены одним более подходящим определением — «кратковременная перегрузка по току».

Раздел нового стандарта «Классификация номинальных режимов работы машины» отличается от ГОСТ 20020 лишь некоторыми редакционными поправками и тем, что бывшие стандартные длительности кратковременной работы 30, 60, 90 и 120 min заменены на 15, 30 и 60 min.

Существенные изменения внесены в раздел стандарта «Классификация изолирующих материалов».

Новый ГОСТ предусматривает применение в электромашиностроении следующих пяти классов изоляции: А, В, ВС, СВ и С. Новый ГОСТ исключает применение изоляции класса О. Наоборот, класс изоляции ВС (слюда, асбест, стеклянная пряжа на теплостойких лаках), существовавший в старом ГОСТ 20020 лишь как дополнительный класс, в новом стандарте получил все права основного класса. Кроме того, введен новый класс изоляции СВ, который отличается от ВС тем, что он совершенно не содержит изоляционных материалов класса А. Так например, микалента класса ВС представляет собой слюду, проклеенную теплостойким лаком между двумя слоями тонкой бумаги; в микаленте класса СВ вместо бумаги применяется стеклянное полотно. Применение изоляции класса ВС ГОСТ ограничивает обмотками с номинальным напряжением до 1500 В включительно.

Раздел стандарта «Методы измерения температур», содержащий три метода измерения: метод термометра, метод сопротивления и метод заложенных температурных детекторов,

дополнен четвертым — методом встраиваемых температурных детекторов.

В формулах, применяемых при определении перегрева по методу сопротивления, коэффициент для меди 234,5 заменен на 235 и, кроме того, введен коэффициент для алюминия — 245.

В раздел «Требования, предъявляемые к машине» внесен ряд дополнений и изменений. Так например, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения для генераторов мощностью 100—1000 kW увеличен с 5 до 10%.

Таблица превышений температур сохранена в новом стандарте без каких-либо существенных изменений. Исключение составляют подшипники качения, допустимая температура которых резко повышена, что сделано для создания возможности использовать те температурные режимы, которые допустимы при применении стеклянной изоляции.

В таблицу испытательных напряжений при испытании электрической прочности изоляции обмоток от корпуса внесены следующие изменения:

1. Все машины на номинальное напряжение 24 В независимо от их мощности испытываются напряжением, равным 500 В плюс двойное номинальное напряжение (т. е. 548 В).

2. Крановые двигатели испытываются напряжением 1000 В плюс тройное номинальное напряжение (вместо 1000 В + 2 Е по старому ГОСТ).

Данный раздел дополнен одним существенным параграфом, предписывающим производить нормальное испытание электрической прочности обмоток машин, отремонтированных на заводе с полной перемоткой.

Согласно новому ГОСТ машины переменного тока должны выдерживать на испытательном стенде завода перегрузку по току на 50% в течение 15 sec — для машин мощностью до 1000 kVA; 60 sec — для машин больше 1000 kVA и 120 sec для турбогенераторов и гидрогенераторов.

Часть стандарта «Испытания машин» в основном полностью сохранила свое содержание и была лишь дополнена проверкой свойств машины, регламентированных новым стандартом.

Возросший объем требований нового стандарта отражает рост советского электромашиностроения, которое в постоянном выпускании продукцию, отвечающую во всех показателях требованиям нового ГОСТ.

Подробное описание нового ГОСТ 183—41 будет приведено в одном из ближайших номеров журнала «Электричество».

ХРОНИКА

Технический совет народного комиссариата электропромышленности СССР

Приказом народного комиссара электропромышленности тов. В. В. Богатых от 28 января 1941 г. за № 31 утверждено новое положение о техническом совете народного комиссариата электропромышленности СССР и объявлен первоначальный состав совета.

По положению технический совет является совещательным научно-техническим органом при народном комиссаре электропромышленности СССР. Решения технического совета утверждаются народным комиссаром и после утверждения приобращают силу приказа.

На технический совет возлагается определение технических путей развития электропромышленности в соответствии с требованиями народного хозяйства и обороны страны. Для этого технический совет:

а) рассматривает и подготавливает материалы по отдельным вопросам технической политики;

б) рассматривает и дает заключения по перспективным планам развития отдельных отраслей электропромышленности;

в) рассматривает тематические планы научно-исследовательских институтов, заводских лабораторий и конструкторских бюро и планы развития научно-исследовательских и экспериментальных баз электропромышленности.

При техническом совете имеются следующие секции: электромашиностроения, котлотурбостроения, радиоаппаратостроения, проводной связи, автоматизма, телемеханики и контрольно-измерительных приборов, высоковольтной аппаратуры,

электроизоляции, кабелей и проводов, электровакуумных приборов, химических источников тока.

Руководство техническим советом возложено на заместителя народного комиссара электропромышленности тов. А. И. Товстопалова.

В состав технического совета входят 90 крупных специалистов, в том числе: канд. техн. наук К. А. Андрианов — руководитель лаборатории изоляционных материалов ВЭИ; инж. В. Г. Бирюков — зам. директора по научной части ВЭИ; С. М. Брагин — проф. кафедры электрокабелей Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова; д-р технических наук О. Б. Брон — проф. кафедры электроаппаратов ХЭТИ; д-р техн. наук Ю. В. Буткевич — руководитель лаборатории коммутационной аппаратуры ВЭИ; инж. Н. А. Быков — и. о. главного инж. завода «Электросила» им. Кирова; инж. Л. М. Клячкин — зам. главы конструктора завода «Электросила» им. Кирова; д-р техн. наук Б. А. Введенский — чл. корр. Академии Наук СССР; д-р техн. наук И. Н. Вознесенский — чл. корр. Академии Наук СССР; инж. И. П. Земблинов — гл. инж. МТЗ им. Куйбышева; д-р техн. наук И. Л. Каганов — руководитель лаборатории исных приборов ВЭИ; инж. А. А. Колотов — гл. инж. ЯЭМЗ; д-р техн. наук, чл.-корр. Академии Наук СССР М. П. Костенко; д-р техн. наук А. Н. Ларионов — ВЭИ; инж. Р. А. Лютер — шеф-электрик завода «Электросила» им. Кирова; д-р техн. наук С. О. Майзель — зав. светотехнической лабораторией ВЭИ; инж. Р. А. Нилендер — гл. инж. Московского электролампового завода; канд. техн. наук В. А. Привезенцев — гл. технолог завода «Москабель»; инж. А. А. Рабинович — нач. технического бюро машин завода «Динамо» им. Кирова; д-р техн. наук Л. И. Сиротинский — проф. кафедры высоких напряжений Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова и др.

Приказом народного комиссара электростанций СССР тов. А. И. Леткина от 1 февраля 1941 г. за № 20 утверждены технический совет народного комиссариата электростанций СССР.

Технический совет состоит из 5 секций: теплотехнической, электротехнической, гидротехнической, секции строительства тепловых электростанций и сетей и секции торфяной промышленности.

Председателем технического совета назначен заместитель народного комиссара тов. Д. Г. Жимерин.

Электротехническая секция технического совета возглавляется д-ром техн. наук А. А. Глазуновым — проф. Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова. В состав этой секции входят: д-р техн. наук К. А. Круг — чл.-корр. Академии наук СССР, проф. Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова; инж. Н. Г. Кузнецов — нач. электроцеха Сталингорской прес; инж. И. А. Сыромиятников — зам. нач. технического отдела НКЭС и др.

Во главе гидротехнической секции стоит акад. Г. О. Графтио. В состав этой секции входят: инж. А. А. Беляков — гл. инж. Гидроэнергостроя; акад. Б. Е. Веденеев и др.

Руководство секцией строительства тепловых электростанций возложено на акад. А. В. Винтер.

Всесоюзное совещание по тепловым электростанциям малой мощности

XVIII съезд ВКП(б) вынес важное решение о строительстве тепловых электростанций.

«В строительстве тепловых электростанций перейти к небольшим и средним электростанциям в 25 тысяч киловатт и ниже. Осудить, как неправильное и вредное для народного хозяйства, увлечение крупными электростанциями в ущерб небольшим и средним».

На основе решений XVIII съезда ВКП(б) большое число производственных, проектных и научных организаций СССР занялось разрешением вопроса о строительстве тепловых электростанций средней и малой мощности, а также проработала вопрос о производстве соответствующего электрооборудования для этих электростанций.

В результате получено много интересных и оригинальных решений. Выявилась необходимость подвести итоги большой работы и наметить типы электростанций малой мощности, имеющих самое разнообразное назначение.

Всесоюзным научно-инженерно-техническим обществом энергетики и электросвязи (ВНИТОЭ) было создано в Ленинграде с 27 по 31 января с. г. Всесоюзное совещание по тепловым электростанциям малой мощности.

На совещании было заслушано 26 докладов и сообщения с мест по эксплуатации существующих тэц малой мощности.

Анализ аварий турбо- и гидрогенераторов

В лаборатории электромашиностроения ВЭИ сотрудником М. И. Земляным закончена работа по изучению и систематизации материалов по авариям турбо- и гидрогенераторов, установленных в энергосистемах НКЭС. В работе рассматриваются аварии за 1937—1940 гг. с повреждениями и без повреждения оборудования, имевшие место как по причинам неправильной эксплуатации, так и из-за дефектов оборудования.

Приводится статистика аварий, которая показывает, что хотя общее число аварий с каждым годом снижается, однако количество аварий по вине эксплуатационного персонала еще довольно велико.

Кроме того, за последние годы увеличилась количество аварий вследствие заводских дефектов, в частности, имеется большое число аварий с возбудителями завода «Электросила» им. Кирова.

На основании анализа аварий выявлены дефекты оборудования, вызывающие их. Указываются конструктивные мероприятия для устранения дефектов оборудования и приводятся эксплуатационные мероприятия, способствующие предупреждению аварий.

Генераторное устройство для автоматической радио-метеостанции

В лаборатории электромашиностроения ВЭИ сотрудниками инж. Б. Д. Садовским и инж. В. И. Михеевым разработаны, а на опытном заводе ВЭИ сконструировано (бригадой инж.

Д. В. Павлова) и изготовлено генераторное устройство для автоматической радио-метеостанции.

Автоматическая радио-метеостанция предназначена для работы в Арктике без обслуживающего персонала в течение 1—1,5 лет и должна передавать по радио метеорологические сводки четыре раза в сутки. Питание радио-метеостанции производится от преобразователя, который включается автоматически каждые шесть часов.

Разработанное ВЭИ генераторное устройство служит для питания преобразователя во время его работы и состоит из батареи щелочных аккумуляторов, трехфазного генератора с постоянными магнитами, купроксных выпрямителей и аппаратуры автоматического управления. Генератор приводится в движение ветродвигателем, с которым он соединен без редуктора. Генератор предназначен для подзаряда аккумуляторов, через выпрямитель.

Включение аккумуляторов на зарядку при наличии ветра и отключение их после зарядки производится автоматически аппаратурой управления.

Схема генераторного устройства в целом и отдельные ее элементы были подвергнуты детальным лабораторным испытаниям, показавшим удовлетворительные результаты.

Высоковольтный трансвертор

В лаборатории акад. К. И. Шенфера (ВЭИ) закончено испытание опытной установки трансвертора с полной коммутацией на 100 kW и 10 000 V, служащей для преобразования переменного тока в постоянный ток высокого напряжения. Оригинальная идея преобразователя, а также его теоретическая и конструктивная разработка принадлежат инж. Н. С. Климову.

Решение проблемы передачи энергии постоянным током высокого напряжения с помощью вращающихся машин встретило большие трудности в выполнении изоляции обмоток. В 1924 г. в Англии был построен преобразователь, названный «трансвертором», высоковольтная обмотка которого была расположена на кернах трансформатора, что позволяло получить высокие напряжения. Однако этот трансвертор не получил распространения вследствие тяжелых условий коммутации, осуществлявшейся в нем неподвижным коллектором и синхронно вращающимися щетками.

В трансверторе Климова, свободном от указанных недостатков, применена замкнутая обмотка, расположенная на кернах трансформатора. Неподвижные щетки размещены на специальном высоковольтном коммутаторе, приводимом во вращение синхронным двигателем. Коммутация производится с помощью ртутных выпрямителей таким образом, что щетки только переключают уже обесточенные выпрямители. При этом на ртутные выпрямители ложится только одна восьмая часть выпрямленного напряжения. Преобразователь имеет значительно более высокий коэффициент мощности, чем обычные схемы с выпрямителями, и ничтожные пульсации выпрямленного напряжения.

Испытания преобразователя показали вполне безыскровую коммутацию при разных режимах нагрузки.

Разработанный ВЭИ преобразователь дает возможность уже при существующих ртутных выпрямителях получить постоянный ток высокого напряжения достаточно большой мощности.

В настоящее время в лаборатории разрабатывается по указанному принципу промышленный образец преобразователя.

Автоматический рапорт для дистанционно управляемых электрических подстанций

Отделом научно-исследовательских работ Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова под руководством инж. Н. А. Почтарь закончена разработка темы «Автоматический рапорт» (общее научное руководство — зав. кафедрой автоматики и телемеханики Г. М. Жданова). Работа выполнялась по заданию технического совета НКЭС СССР.

На базе проведенной научно-исследовательской работы разработана конструкция и выполнен опытный образец совершенно новой конструкции аппаратуры сигнализации. Аппарат «автоматический рапорт» устанавливается на необслуживаемой, дистанционно управляемой подстанции или фидерном пункте и соединяется с сигнальными контактами контролируемых объектов и телефонной линией. Диспетчер, желая выяснить положение на подстанции, набирает на диске автоматического телефонного аппарата условный номер и получает словесный рапорт о положении всех объектов и значениях некоторых контрольных величин.

Пример рапорта: «Внимание, говорит подстанция А. Масляный выключатель Б — включен. Масляный выключатель

В — отключен. Трансформатор перегружен и т. п. Передала подстанция А; конец».

Передача достигается при помощи замкнутого кольца нормальной киноленты с постоянной звукозаписью, во время прохождения которой выключаются все ненужные слова.

Опытная установка, изготовленная лабораторией автоматики и телемеханики МЭИ, установлена на одной из дальнеуправляемых подстанций.

На Московском рентгеновском заводе

Московский рентгеновский завод освоил изготовление установок РУ-555 для промышленного просвечивания материалов. Предельная продолжительная нагрузка установки равна 6,5 мА при напряжении до 200 кВ.

Установка рассчитана для работы с одной рентгеновской трубкой типа БТМ-200 или БТМ-180 и двумя кенотронами типа КРН-100. Рентгеновская трубка помещается в масляной защитной бленде и соединяется с аппаратом при помощи двух высоковольтных кабелей.

Толщина просвечиваемого слоя в среднем равна 45—50 мм для стали и 150—200 мм для алюминия. Установка может быть присоединена к трехфазной сети с напряжением в 220 или 380 В. Потребляемая установкой мощность не превышает 3,5 кВА.

Освоение новой рентгеновской установки является несомненным достижением в советском рентгено-аппаратостроении. Оно дает возможность нашей промышленности широко применить метод рентгеновского исследования литья, сварных и заклепочных швов, различных металлоконструкций.

В Ленинградском электротехническом институте

Недавно состоялась первая конференция кафедры электроаппаратостроения ЛЭТИ (зав. кафедрой проф. Г. Т. Третьяк). На конференции присутствовали работники заводов «Электроаппарат», «Электросила», «Электрик» и ряда других организаций. На конференции было заслушано 14 докладов.

Доц. Н. Е. Лысов и аспирант Наумов в своих докладах изложили новый метод расчета динамических характеристик электромагнитов. Доц. Г. Г. Швец продемонстрировал разработанный им прибор, позволяющий визуально исследовать волновые электрические процессы и фиксировать их с помощью фотоаппарата. Прибор этот уже применяется в заводской практике завода «Электросила».

Конференция заслушала также доклады, посвященные результатам исследований различных дугогасящих устройств. Аспирант Юров сообщил о результатах исследования гашения дуги переменного тока в магнитном поле. В лаборатории института, в связи с выполнением этой темы, был разработан интересный способ фотографирования быстропеременяющейся дуги на фотобумагу. Доклад Ю. А. Юрова вызвал оживленную дискуссию. Представителями заводов была отмечена высокая техника эксперимента в лаборатории ЛЭТИ, а также произошел обмен опытом по результатам исследований процесса гашения дуги.

На заводе «Электроаппарат»

На заводе «Электроаппарат» внедрены в производство выключатели МС-10, МГФ-11, приводы ПС-20, ПС-25, трансформаторы тока типа ТШ на 20 000 А и ряд других новых конструкций.

Экспериментальный цех завода занят изготовлением серии выключателей МО-35. Тем же цехом заканчивается сборка трехполосного импульсного выключателя типа МОИЗ для Волгостроя. Время отключения выключателя МОИЗ составляет всего 0,05 сек, тогда как для выключателя МКП-275 время отключения составляло 0,15 сек.

Заводу предстоит изготовить макет воздушного выключателя на 110 кВ и опытный экземпляр выключателя с твердым дугогасящим веществом на 10 кВ типа ВГ-100. На этих образцах предполагается произвести подробное исследование условий гашения дуги.

В текущем году заводу предстоит освоить малообъемный выключатель на 10 кВ типа МГФ-10. Вместе с МГФ-11 этот выключатель сможет заменить ряд устаревших конструкций ВМ-22, ВМ-23 и др.

В 1941 г. экспериментальному цеху завода предстоит провести ряд работ по изготовлению опытных образцов аппаратуры для Дворца Советов.

Диссертации, защищенные в МЭИ в 1940/41 г.

На соискание ученой степени доктора технических наук

А. Наумов. (Киев). Аналитическая теория электрических неавтополосных машин. Оponentы: чл.-корр. АН СССР, проф. К. А. Круг, д-р техн. наук, проф. Г. Н. Петров. Защищена в январе 1941 г.

П. С. Жданов. О статической устойчивости сложных электрических систем. Оponentы: д-р техн. наук, проф. Г. Н. Петров, д-р техн. наук, проф. А. А. Вульф, д-р техн. наук, проф. С. А. Лебедев. Защищена в декабре 1940 г.

О. Б. Брон (ХЭТИ). Движение электрической дуги в магнитном поле. Оponentы: д-р техн. наук, проф. А. Я. Буйлов, д-р техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич, проф. Е. В. Нитусов. Защищена в декабре 1940 г.

Тема диссертации О. В. Брон посвящена одной из актуальных проблем современного аппаратостроения и машиностроения.

Работа сводится в основном к изучению движения дуги в магнитном поле. В результате работы автором получены выводы по гашению электрической дуги магнитным полем, гашению дуги в рубильниках, предохранителях и автоматах, дается обобщающее заключение о величине раствора контактов и подробно рассматриваются силы, движущие дугу в искрогасительной решетке.

Е. В. Нитусов. Переходные процессы в машинах постоянного тока. Защищена в 1940 г.

Перед защитой результаты работы были доложены в 1940 г. на юбилейной научно-технической конференции Московского электромеханического института инженеров транспорта им. Дзержинского. Основные результаты работы опубликованы также в № 1 журнала «Электричество» за 1941 г.

На соискание ученой степени кандидата технических наук

Б. Л. Балашинский. Принципы стандартизации электрических ламп накаливания. Оponentы: проф. А. П. Иванов, проф. Б. Ф. Федоров. Защищена 24 декабря 1940 г.

Работа посвящается стандартизации массовой продукции, к которой относятся и электрические лампы накаливания. Стандартизация является существенным фактором экономии и технического прогресса и в условиях социалистического хозяйства приобретает исключительно серьезное значение. Автор констатирует, что реальная экономия электроэнергии, при повышении экономичности (световой отдачи ламп), должна иметь место лишь при установлении сортамента ламп с определенной неизменной классификацией их по световому потоку.

В результате проведенной работы установлены: шкала номинальных напряжений для ламп, номинальные значения световых и электрических характеристик ламп, допустимые пределы отклонения характеристик от их номинальных значений, срок службы ламп и методы оценки качественных параметров массовой партии ламп, которые должны быть положены в основу нового общесоюзного стандарта на электрические лампы накаливания.

Б. К. Басова. Исследование машин повышенной частоты индукторного типа. Оponentы: д-р техн. наук, проф. Г. Н. Петров, проф. А. Н. Ларионов. Защищена 7 января 1941 г.

Д. Э. Брускин. Асинхронные конденсаторные двигатели для электрической тяги. Оponentы: акад. К. И. Шенфер, д-р техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд. Защищена 21 июня 1940 г.

В. П. Бычков. Исследование статических и динамических режимов в схеме Леонарда с трехобмоточным генератором. Оponentы: проф. Е. В. Нитусов, канд. техн. наук А. Я. Лернер. Защищена 26 ноября 1940 г.

М. Г. Герценштейн (МОТЭЗ). Совтоловые статические конденсаторы. Оponentы: канд. техн. наук, проф. Е. Ф. Комарков, канд. техн. наук, доц. Б. М. Тареев. Защищена 24 декабря 1940 г.

Работа посвящена материалам, применяемым при производстве совтоловых конденсаторов, рассматривает технологический процесс производства совтоловых конденсаторов, подробно анализирует электрические характеристики этих конденсаторов. В работе приводятся, в частности, интересное сравнение пробивных напряжений совтоловых и маслонаполненных конденсаторов; приводятся результаты испытания совтоловых конденсаторов. Работа завершается рассмотрением некоторых экономических показателей совтоловых конденсаторов.

В. К. Зимин. Статические электромагнитные преобразователи напряжения с произвольно заданными внешними характеристиками. Оponentы: проф. Е. В. Нитусов, канд. техн. наук, доц. Н. В. Горохов. Защищена 28 июня 1940 г.

В. С. Комельков. Исследование максимальной крутизны фронта волны токов молнии. Оponentы: д-р техн. наук И. С. Стекольников, канд. техн. наук А. А. Акопян. Защищена 10 декабря 1940 г.

Е. Н. Лебедев. Многопозиционный пуск электроподвижного состава постоянного тока. Оponentы: проф.

Е. В. Нитусов, инж. Н. Д. Ермаков. Защищена 7 апреля 1940 г.

Л. Ф. Рейм. Координация изоляции с учетом форм волны. Оппоненты: канд. техн. наук Л. И. Иванов, инж. Е. С. Гройс. Защищена 21 июля 1940 г.

А. С. Сандлер. Способы точного останова электроприводов трехфазного тока. Оппоненты: проф. Левы, канд. техн. наук Д. П. Морозов. Защищена 7 мая 1940 г.

Г. В. Сенилов. Индуктивный метод измерения линейных размеров и его применение в автоматике. Оппоненты: канд. техн. наук Р. Р. Харченко. Защищена 28 июня 1940 г.

И. Г. Сушкин. Методика исследования эммитирующих поверхностей с помощью электронного микроскопа. Оппо-

ненты: проф. Б. Л. Беликов, проф. Г. В. Сливак. Защищена 19 июня 1940 г.

Ю. Г. Толстов. Исследование передачи электроэнергии на большие расстояния от асинхронных генераторов. Оппоненты: проф. Б. П. Апаров, инж. П. С. Жданов. Защищена 8 апреля 1940 г.

М. А. Чернышев. Определение действительных форм токов многофазных мутаторов. Оппоненты: доц. В. В. Ясинский, проф. И. Л. Каганов. Защищена 7 апреля 1940 г.

Л. М. Шильднер. Однофазный коллекторный двигатель нормальной частоты для электрической тяги. Оппоненты: проф. Е. В. Нитусов, канд. техн. наук А. Б. Иоффе. Защищена 25 января 1940 г.

БИБЛИОГРАФИЯ

КНИГА О ТЕЛЕУПРАВЛЕНИИ

Б. К. ЩУКИН. Телеуправление. Гос. изд. оборон. промышленности. Москва, стр. 346, 1940, ц. 15 р. 50 к.

Советская литература по вопросам телеуправления еще несколько лет тому назад была самым забытым участком нашей технической печати. Перевод книги Шлейхера «Телемеханизация энергосистем» и книга А. А. Солодовникова «Основы телемеханики и автоматики» (1935 г.) даже к моменту их выхода в свет не могли удовлетворить читателя ни в практическом, ни в теоретическом отношении.

Вышедшая в 1938 г. книга доц. М. А. Гаврилова «Телемеханизация диспетчерского управления энергетическими системами» восполняла в известной степени пробел в ознакомлении молодого читателя с состоянием различных отраслей комплексной телемеханики. Перевод книги В. Штебейна «Техника далекодействующих устройств» оказался значительно запоздавшим и лишь весьма относительно полезным. Книге А. Солодовникова «Методы селектирования» (1939 г.) не удалось дать принципиально систематизированной картины. Как видно, даже количественно наш арсенал литературы по телеуправлению пока невелик. С точки же зрения качественной, вся упомянутая выше литература страдала тем дефектом, что в ней отсутствовала какая-либо принципиально-методологическая направленность. Качественный уровень нашей литературы по телеуправлению следовало считать невысоким.

Вместе с тем проникновение (пока весьма медленное) телеуправления в различные отрасли нашего народного хозяйства, возросшие запросы со стороны студентов, инженеров-эксплуатационников и производственников — все это настоятельно требует расширения советской литературы по телемеханике с одновременным повышением ее качественного уровня. Важность внедрения новейшей техники, автоматики и телемеханики подчеркнута в указаниях XVIII съезда ВКП(б) и XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б).

Под этим углом зрения с большим удовлетворением подходишь к разбору книги «Телеуправление» Б. К. Щукина. Эта книга характеризуется двумя основными чертами: широким изложением общетеоретических вопросов и подробным описанием большинства советских систем телеуправления.

Книга состоит из четырех частей. Часть I излагает «Основы теории селекции», ч. II — «Элементы схем устройств телеуправления»¹.

В этих частях вопросы теории селекции, классификации систем, функциональной дифференциации основных элементов устройств, принципы действия систем получили достаточно подробное, четкое и принципиально стройное объяснение.

Часть III охватывает советские системы телеуправления, касаясь четырех из всех известных (что следует признать недостаточным). Наконец, ч. IV — «Проектирование» дает большой материал (в основном) из практики завода ЛОЗТА.

И эти две части читатель-студент и инженер-производитель смогут читать и изучать с практической пользой для дела. Не приводя положительные моменты книги и не касаясь подробно всех ее достоинств в отдельности, мы хотим сразу же установить, что полезность и ценность рецензируемого труда безусловны и неоспоримы. Такая оценка вместе с тем заставляет особо строго подчеркнуть отдельные места, диссонансирующие с общим стилем книги.

¹ Обе части в основном являются развитием конспекта лекций того же автора, изданного ВНИТОЭ в 1939 г.

К сожалению, ряд принципиальных и частных положений в книге может неправильно ориентировать читателя, в особенности начинающего. Главнейшие из них необходимо отметить.

Приводя обоснование применения устройств телеуправления и оценивая их степень ответственности, автор рекомендует не предъявлять «особенно жестких требований» (стр. 8) к устройствам телесигнализации. К такому неверному выводу автор пришел вследствие допущенной им одной методологической ошибки. Мы считаем, что недопустимо устанавливать какие-либо технические требования к устройствам телесигнализации или телеуправления, рассматривая их абстрактно и изолированно от связанного с ними комплекса исполнительных механизмов. Необходимо предварительно критически оценить различные энергопредприятия и классифицировать их по характеру назначения и способам обслуживания и управления ими.

Только в этом случае возникла бы четкая систематика технических требований, которая обнаружила бы, что к одним устройствам телесигнализации требуется предъявить более жесткие условия, чем к иным устройствам телеуправления (в зависимости от роли энергопредприятия в системе, способа обслуживания, степени автоматизации и защиты оборудования его и т. п.) Дальнейший анализ показал бы, что в пределах даже одной и той же установки телесигнализации объекты ее могут резко отличаться по степени важности и ответственности их (коммутационная аппаратура вводов и агрегатов, аварийные сигналы, или же вспомогательные и т. п.).

В свете сказанного становится беспредметным и теряет свою абсолютность замечание автора о нерентабельности установки телесигнализации при усложнении и удорожании ее.

Методика проектирования, которой посвящены II и IV части книги, дана в недостаточно исчерпывающем виде, как этого уже требует современный уровень техники устройств телеуправления. В этой части преобладает больше описательный материал, нежели расчетный, и качественная оценка не подкрепляется количественными соотношениями. В результате читатель не находит утверждающих положений, например, для выбора методов селекции, систем телеуправления, так и типов аппаратуры и применения таких основных схем, как воспроизведения сигналов, начинающихся реле и др.

Однако, если эта группа вопросов может казаться пока еще до некоторой степени проблемной, то вполне актуальным является анализ элементов защиты и контроля собственно схемы установки. Этому не уделено внимания в книге. Гл. 13 «Цепи защиты» с достаточной полнотой излагает способы обеспечения синхронизма и синфазности в работе устройств, а также вопрос защиты от качественных искажений, проявляющихся в самом механизме телепередачи. Этот вопрос уже не новый и в значительной степени и теоретически и практически может считаться разрешенным. Методика же защиты и контроля основных операций и комбинаторики местной схемы устройства, а также аппаратуры его, анализ причин и определение очагов возможных нарушений работы схемы, принципы построения защитных схем, связь между методами защиты и контроля, с одной стороны, и типами телемеханизируемого оборудования, с другой, — все эти моменты являются критерием ка-

чества и устройства в отношении надежности и стабильности действия его.

Отсутствие, к сожалению, всего этого в ч. IV «Проектирование установок» снизило значительно ее достоинства. И как следствие в IV части книги заняли исключительное место вопросы узкие — конструктивные и монтажные.

Далее в перечне советских систем телеуправления даже не упомянуты устройства, выпущенные ЦЛЭМ Мосэнерго и «Электропромом».

В теоретических главах книги нельзя найти изложения понятия о совмещенных импульсах (селекции и сигнализации), очень важного для уяснения механизма селекции, в особенности в распределительных системах.

Автор рецензируемой книги придерживается отрицательного взгляда на применение телефонных искателей в качестве распределителей в установках телеуправления. Мы не считаем обязательным единство взглядов на различные технические вопросы, однако, неоднократно приводимая автором аргументация в виде якобы фактических доказательств должна быть опровергнута.

Так, на стр. 21 сказано, что в аварийных случаях требуется быстрый возврат распределителя на нуль. На стр. 111 говорится, что искатель при возврате на нуль переключает коммутируемые им цепи.

Эти утверждения, искажая действительную картину явлений, могут ввести в заблуждение читателя, что не является, конечно, целью книги. В действительности же: а) аварийные случаи не требуют мгновенного возврата на нуль, ибо повторная команда, осуществляемая человеком, не может быть послана мгновенно; б) в современных искателях возврата на нуль можно достичь в пределе за 1—1,5 сек, что в применении к распределительным системам можно считать практически мгновенным; в) во всех устройствах с шаговыми распределителями при возврате на нуль коммутируемые цепи простейшими способами отсоединяются от полюсов батареи, почему движущаяся щетка ничего переключать не в состоянии. А в то же время в книге обойден существенный недостаток релейных распределителей, как, например, последовательное включение большого числа контактов реле, что снижает стабильность работы установки, неэкономичность их и др.

После нашей поправки уже совершенно неубедительно звучит заявление автора о том, что «... вращающиеся распределители вытесняются релейными...» (стр. 23). Это всего лишь личный взгляд. По литературным же данным за границей преобладает первый тип распределителя.

Неясно сказано на 67 стр. о циркулярности при групповом избирании. Неизвестно, как понимал этот вопрос автор, читателю же мы поясним: недопустимость циркулярной передачи групп, как объектов селекции за одну серию, не противоречит возможности циркулярной передачи объектов всех групп последовательными сериями.

§ 14 главы 12 посвящен описанию предложенного автором способа совмещения функций приема и воспроизведения сигналов с помощью лампы тлеющего разряда. Этот способ весьма интересный и в ряде случаев может получить применение. Однако следует указать на недопустимость механической замены предложенной автором лампы реле «обычной лампы накаливания, ибо реле выполняет не

только функции включения лампы своего символа, но в общем случае и ряд других, на что требуются дополнительные контакты. Кроме того, по способу автора воспроизведение сигналов на диспетчерском щите должно происходить немедленно, т. е. до проверки правильности серии со всеми вытекающими отсюда отрицательными следствиями.

Глава 20 детально говорит о конструктивном оформлении и монтаже установок. К сожалению, приводится с чрезмерными подробностями практика одного завода ЛОЗТА, что не расширяет кругозора читателя. При этом отрицательные особенности метода ЛОЗТА совершенно не подчеркнуты в книге, а их много: это громоздкость релейного штатива, по причине большого числа плат и плохого заполнения их, как следствие первого — увеличение габарита помещения, наличие огромного числа переходных контактов в цепях и др.

Вообще в ч. IV книги много излишней детализации, число случайного или общеизвестного материала, что с пользой можно было бы сократить или изъять (например стр. 316—326).

Серьезным пробелом является крайне бедное изложение схем автоматического запуска (стр. 134); дан один метод, снова не освещены все его эксплуатационные дефекты и особенности, нет увязки с типами коммутационной аппаратуры.

На стр. 192 дальность передачи гарантируется в 200—300 км в зависимости от ряда факторов и, в частности, от чувствительности линейных реле. Упущено, к сожалению, влияние утечки проводов линии связи, каковая противоречит требованию чувствительности линейных реле. Поэтому цифра в 200—300 км не имеет реального значения.

При общей оценке системы РТУ-8 указывается как на положительные качества ее «циркулярность в пределах каждой группы» и запасание контрольных передач. Во избежание недоразумений поясним: «циркулярность» не качество системы РТУ-8, а свойство (1) всех систем, основанных на распределительном методе селекции; «запасание» не качество системы РТУ-8, а обязательное условие для всех устройств телеуправления мгновенного действия.

Неверно замечание (стр. 245), что емкость устройства ВТС-3 может быть расширена лишь (?) дополнительными искателями или ламелями на них, что естественно увеличивает время передачи сигналов. Увеличить емкость можно в путем увеличения числа групп без увеличения времени передачи сигнала. Наконец, в книге опущены способы центрального съема сигналов (квитирование) в связи с системами телеуправления.

Прочие, более мелкие ошибочные или спорные положения приводить излишне.

Отдельные упущения могут быть исправлены при дальнейшей работе над книгой. Мы рассчитываем на то, что автор и читатели его книги воспримут наши замечания по их достоинству и с пользой для дела.

Книге «Телеуправление» пожелаем широкого и плодотворного распространения среди советских телемехаников.

Инж. Р. Л. РАЙНЕС
Мосэнерго

АКАДЕМИК В. В. ПЕТРОВ

Акад. В. В. ПЕТРОВ, 1761—1834 г. К истории физики и химии в России в начале XIX века. Сборник статей и материалов под редакцией акад. С. И. Вавилова. Изд. АН СССР, Москва—Ленинград, 1940, стр. 252; тираж 1000 экз., ц. 13 руб.

Впервые имя академика Василия Владимировича Петрова было возвращено из забвения и заняло подобающее и заслуженное положение среди славной плеяды творцов русской науки в конце 80-х годов, благодаря А. Л. Гершуну и журналу «Электричество». Однако до сих пор подробного исследования деятельности В. В. Петрова в печати не появлялось. Поэтому большим и нужным делом является издание Академией Наук СССР трудов по истории физики и химии в России в начале XIX века, один из сборников которых посвящен акад. В. В. Петрову, чтобы реально послужить к увековечению его памяти.

Рецензируемый сборник, составленный из докладов акад. С. И. Вавилова, проф. Б. Н. Меншуткина и проф. В. К. Лебединского на юбилейных заседаниях памяти В. В. Петрова в 1934 г. и большого очерка А. А. Елисеева, в достаточной мере и выполняет поставленную задачу.

Доклад акад. С. И. Вавилова «Академик В. В. Петров —

исследователь люминисценции» очень мал по объему и, как указывает сам автор, схематичен и краток.

В нем дается краткий обзор состояния знаний о явлении люминисценции к началу XIX века, которое характеризует как «состояние... хаоса и бесплановости». Существовавшая в то время техника эксперимента не позволяла производить количественные фотометрические измерения, и спектральный анализ фосфоресценции был невозможен по той простой причине, что возможность спектрального анализа конкретно была осознана лишь в работах Кирхгофа и Бунзена, опубликованных в 1859 г. До этого времени все наблюдения над спектрами касались главным образом выяснения фактической стороны явлений. Зависимость же между характером спектра и природой излучающего тела хотя и была отмечена рядом наблюдателей (Гершель, Тальбот), однако ими не было найдено вполне определенных зависимостей.

Работы В. В. Петрова по люминесценции излагаются в связи с его другими физико-химическими работами. Значительный интерес представляет приведенный в докладе мемуар В. В. Петрова, представленный им в Ученое собрание Академии Наук в 1818 г., содержащий наблюдения над окрашенными флуоритами и до сих пор еще нигде не опубликованный.

Несмотря на краткость своего доклада, акад. С. И. Вавилов приходит в нем к выводу, что в области исследования природы люминесценции В. В. Петровым «было выполнено большое и нужное дело. Говоря на современном языке, Петрову удалось разделить хемилюминесценцию от фотолюминесценции».

Проф. Б. Н. Меншуткин в докладе «Василий Владимирович Петров — как химик» подробно и обстоятельно излагает работы В. В. Петрова по химии. При этом в основу своего доклада Б. Н. Меншуткин кладет разбор отдельных глав книги В. В. Петрова «Сборник физико-химических новых опытов и наблюдений», касающихся специально химического исследования явлений, дополняя их изложением содержания статей, опубликованных позднее.

Химические работы В. В. Петрова имели целью, как пишет Б. Н. Меншуткин, «проверить на опыте все следствия кислородного учения Лавуазье и изучить все случаи кажущегося отступления от него».

Описание выполнения этой громадной в то время и трудной работы, проделанной В. В. Петровым с исключительной последовательностью вплоть до мельчайших подробностей, дается Б. Н. Меншуткиным с замечательной полнотой и яркостью. Перед читателем вырастает образ ученого, лишенного всякой рутины, борца за новые идеи в естествознании.

Доклад проф. В. К. Лебединского «Работы проф. В. В. Петрова по электричеству» касается наиболее известной области научной деятельности В. В. Петрова. В докладе приводится изложение работ В. В. Петрова, опубликованных в сочинениях: «Известие о гальвани-вольтовых опытах», изд. 1803 г. и «Новые электрические опыты», изд. 1804 г.

В первом из этих сочинений приводится описание главным образом химических опытов, произведенных с вольтовым столбом; во втором — экспериментально доказываются, «что изолированные металлы и люди, а премогины только наретия тела могут соделываться электрическими от трения, наипаче же стегания их шерстью выделанных до нарочитой мягкости мехов и некоторыми другими телами; также особливые опыты, деланные различными способами для открытия причины электрических явлений», т. е. разрешается неясный в то время вопрос об электризации проводников трением.

В своем докладе В. К. Лебединский, говоря об опытах В. В. Петрова с вольтовым столбом, останавливается только на VII главе, в начале которой Петров описывает получение им при «сближении углей яркого света, от которого оные угли скорее или медленнее загораются, и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может». Говоря современным языком, В. В. Петров описал явление вольтовой дуги. Однако это исключительной важности открытие, опубликованное на русском языке, осталось неизвестным заграничным ученым и забытым русскими физиками. Позднее электрическую дугу независимо наблюдал Гемфри Деви в 1812 г., которому обычно и приписывается открытие этого явления.

Говоря о работах В. В. Петрова по электризации проводников трением, В. К. Лебединский определяет значение этих работ, как окончательно устраняющих «жестокое недоразумение», тормозящее в продолжение двух столетий развитие науки об электричестве, — деление тел на «электрические» и «не электрические», сделанное Гильбертом в 1600 г.

Последняя статья сборника, самая большая по объему, «В. В. Петров — организатор физических кабинетов в России», написана А. А. Елисеевым, главным образом, по неопубликованным архивным материалам. Она освещает неизвестную до сих пор сторону общественной деятельности В. В. Петрова — его борьбу за развитие и распространение знаний. А. А. Елисеев совершенно справедливо пишет: «В. В. Петров во всем следует своему великому предшественнику — Ломоносову: в настойчивости и неустанной жажде познания природы; в смелости и самостоятельности своей творческой работы; в мастерстве экспериментирования;

в бескорыстной любви к науке; в вере в силы и творчество русского народа».

Деятельность В. В. Петрова как организатора физических кабинетов протекала в Медико-хирургической академии и Академии Наук. Однако больших успехов В. В. Петрову удалось добиться лишь при организации физического кабинета Медико-хирургической академии, который уже через несколько лет после его создания занял одно из первых мест среди подобных кабинетов в России.

Это определялось исключительными организационными способностями В. В. Петрова и его целеустремленностью, направленной к улучшению педагогической работы. Физический кабинет нужен был В. В. Петрову для широко применяемых им на занятиях демонстраций и для экспериментальной проверки ряда еще не ясных положений в физике того времени. Из этого критического отношения к современной ему физике, из стремления найти правильные подтвержденные экспериментом объяснения ряда физических явлений возникли замечательные исследования В. В. Петрова.

Много было сделано В. В. Петровым и для организации физического кабинета при Академии Наук, находившегося в исключительно запущенном состоянии.

Очерк А. А. Елисеева дает яркую картину неустанной упорной борьбы В. В. Петрова «с косностью и рутинной «высокопоставленных лиц», которые возглавляли в то время русское образование и науку, но которым и то и другое было совершенно чужды. Большое количество приведенных подлинных документов является красочной иллюстрацией этой борьбы, во многом напоминающей борьбу М. В. Ломоносова с бюрократической канцелярией Академии Наук. Так же, как и его великий предшественник, В. В. Петров был одинок и это предредило исход борьбы.

В очерке А. А. Елисеева также приводятся интересные сведения и о педагогической деятельности В. В. Петрова. Однако и в этой области благодаря своему новаторству В. В. Петров не был оценен. Более того, за год до смерти, в 1833 г., В. В. Петров был уволен из Медико-хирургической академии, причем никаких поводов к этому увольнению, кроме его старости и слабого здоровья, не было.

Сборник снабжен большим по объему приложением, в котором приведены сведения об опубликованных и не опубликованных работах В. В. Петрова, список материалов о его деятельности и отчет о праздновании столетнего юбилея со дня смерти.

Несмотря на значительный интерес, рецензируемый сборник имеет ряд недостатков.

Является непонятным принятое в книге расположение материала. Доклад акад. С. И. Вавилова помещен первым и предшествует докладу проф. Б. Н. Меншуткина, в котором рассматриваются физико-химические работы В. В. Петрова. Такой порядок не только ничем не обоснован, но вызывает естественное недоумение читателя, так как основные работы В. В. Петрова по люминесценции являются организационной частью его физико-химических работ (целью которых была проверка «антифлогистического учения» Лавуазье), опубликованных в книге «Собрание физико-химических новых опытов и наблюдений».

Вторым недостатком сборника является несоответствие объемов публикуемого материала о научной, исследовательской и организаторской деятельности В. В. Петрова. Разбору научно-исследовательской деятельности В. В. Петрова отведено всего 46 страниц, в то время как статья об его организаторской деятельности занимает 145 страниц. Это несоответствие, несмотря на самостоятельный интерес статьи А. А. Елисеева, ничем не оправдывается, так как центральное место в деятельности В. В. Петрова занимает его научно-исследовательская работа.

Хотя в статье А. А. Елисеева приводятся некоторые биографические сведения о жизни В. В. Петрова и сделан краткий обзор всей его деятельности, однако это не может заменить отсутствующей в сборнике биографии нашего замечательного ученого и не объединяет отдельных статей сборника.

Внешне книга хорошо оформлена и производит приятное впечатление.

К. К. ПОПОВ

*Ленинградский электротехнический институт инженеров
сигнализации и связи*

- Александров-Рославлев В. А.** Сборник примеров и задач по курсу общей электротехники. М. Всес. пром. акад. машиностроения им. Кагановича, 1940. 108 стр. с чертеж. Ц. 16 р. 50 к.
- Алексеев С. В., Гуревич С. С. и Михайлов И. М.** Эксплуатация /высоковольтных воздушных линий электропередачи. Конспект лекций, читанных в Институте усовершенствования по энергетике и автоматике в 1939/40 уч. году. М., Всесоюзное научно-инж. техн. об-во энергетиков и электросвязи (ВСНИТО), 1940, 94 стр. с иллюстр. и чертеж. Беспл.
- Архинов М. А.** Индукционная телеметрическая система. Оборонгиз. М., 1940. 20 стр. с чертеж. Без цены.
- Арцышев Г. Л. и Гурьев А. В.** Монтаж спирали электрических ламп. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. 22 стр. с иллюстр. и чертеж. (Стахановская серия). Ц. 50 к.
- Бассв Г. Ф.** Использование водной энергии рек на колхозных гидроэлектростанциях. Воронежское обл. книгоиздат. 1940. 44 стр. Ц. 2 р.
- Буберман Г. С. и Глушук П. М.** Изготовление изоляционных смесей на основе СК. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. 27 стр. с иллюстр. (Стахановская серия). Ц. 55 к.
- Володин М. М.** Производство эмалированной проволоки. Под ред. В. А. Привезенцева, М.—Л., Госэнергоиздат, 1941. 83 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 2 р. 60 к.
- Вопросы электротранспорта.** Труды Научно-исследовательского института городского транспорта. Изд. Наркомхоза РСФСР. М.—Л. 1940. 144 стр. иллюстр. и чертеж. Ц. 6 р. 30 к.
- Временная инструкция по уходу и обслуживанию велодефектоскопов сист. изобретателя Ф. И. Карпова (НКПС—СССР, Центр. упр. пути и Научно-исслед. институт пути и строительства).** Трансжелдориздат. М. 1940. 160 стр. с иллюстр. и чертеж. Беспл.
- Выбор системы тока для электрических железных дорог СССР.** Вып. 1. Конденсаторные двигатели. М.—Л., Изд-во Академии Наук СССР, 1941, 48 стр. с чертеж. (Отд. технических наук, секция проблем транспорта). Ц. 2 р. 50 к.
- Газогенераторная электростанция ЖЭС—30Г.** Устройство и уход. Практическое руководство. М., Трансжелдориздат. 1941. 68 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 5 р. 50 к.
- Жиц М. З.** Электрическое оборудование подвижного состава типа Г. Московского метрополитена им. Л. М. Кагановича. Утв. ЦУУЗ НКПС в качестве учебного пособия для машинистов и слесарей подвижного состава метрополитена. Трансжелдориздат. М. 1940. 152 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 5 р., в перепл.
- Забезжанский Х. М. и Никольский Г. А.** Руководство к лабораторным и практическим работам по автотракторному электрооборудованию. Под ред. М. М. Лихачева, М., Воен. акад. механизации и моторизации Кр. Армии им. Сталина, 1940. 96 стр. с иллюстр. и чертеж. Без цены.
- Загайнов Н. А.** Автоматические трамвайно-троллейбусные подстанции. Изд. Наркомхоза РСФСР. М.—Л. 1940. 216 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 7 р., в перепл.
- Зорохович А. Е. и Силаев Б. В.** Конструкция и ремонт электрической аппаратуры моторвагонного подвижного состава. Трансжелдориздат. М. 1940. 586 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 18 р., в перепл.
- Зудов С. В.** Электродвижение и электрооборудование современных морских судов. М.—Л. Морской транспорт, 1940, 289 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 9 р. 25 к.
- Инструкция № М-255 по монтажу и эксплуатации электромагнитных приводов постоянного тока типа ПС-30.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. 24 стр. с иллюстр. (НКЭП Главэлектромашпром). Беспл.
- Инструкция по наблюдению за соединениями проводов.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. (НКЭС СССР. Тех. совет. Типовые инструкции по эксплуатации энергетич. систем ЭО-34). 16 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 45 к.
- Инструкция по производству соединений сталеалюминиевых проводов цилиндрическими трубчатыми соединителями методом волочения.** (Сост. электроцехом «Оргрэс» совместно с лабораторией ВВС Мосэнерго). НКЭС СССР. Техсовет (Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем ЭО-33). Госэнергоиздат. М.—Л. 1940. Цена 75 к.
- Инструкции по эксплуатации, контролю и ремонту высоковольтной изоляции.** Харьков—Москва, Металлургиздат, 1940. 212 стр. с чертеж. Ц. 11 р.
- Инструкционная книга по испытанию электрических машин.** Сост. В. М. Иванов и др. (завод «Динамо» им. Кирова), М., 1940. 140 стр. с иллюстр. и чертеж. Без цены.
- Калнин И.** Источники питания для электрических средств связи. М. Воениздат, 1940. 534 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 8 р.
- Капелько В. К. и Кулемин В. В.** Формовка и обработка фарфоровых покрышек для высоковольтных вводов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. 20 стр. с иллюстр. и чертеж. (Стахановская серия). Ц. 45 к.
- Каплянский А. Е.** Введение в общую теорию электрических машин. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941. 96 стр. с чертеж. Ц. 3 р.
- Каплянский А. Е.** Общая электротехника. Л. Ленингр. инст. инженеров гражд. воздушного флота, 1940. 216 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 7 р.
- Коваленков В. И.** Основы теории магнитных цепей и применение ее к анализу релейных схем. М.—Л., Изд-во Акад. Наук СССР, 1940. 158 стр. с чертеж. (Ин-т автоматики и телемеханики). Ц. 9 р. 50 к.
- Комаров Б. С.** Электропитание и электрооборудование предприятий проводной связи. М., Связьиздат, 1940. 423 стр. с иллюстр. и черт. Ц. 16 р., перепл. 1 р. 50 к.
- Контроллеры для трамвайных вагонов и промышленных электровозов.** Каталог ТЭО № 2а. Тяговое электрооборудование. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. 20 стр. с иллюстр. и чертеж. (НКЭП, Главэлектромашпром.) Ц. 2 р. 75 к.
- Кротова В. И.** Потенциометры. Под ред. Н. А. Маронина. ВНИИМ. Л., 1940. 184 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 9 р. 75 к.
- Кузнецов А. Н.** Безаварийность промышленных электрических установок. М., Профиздат, 1940. 180 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 4 р.
- Ламтев Н. Н.** Ремонт стационарных аккумуляторных установок. М.—Л., Госэнергоиздат, 1940. 219 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 6 р. 20 к.
- Лебединский В. К.** Беседы об электричестве. Под ред. Б. А. Остроумова, М.—Л., Изд-во Академии Наук СССР, 1940 (Академия Наук стахановцам). 208 стр. с иллюстр. Ц. 4 р. 50 к.
- Лещинский Я. М. и Альянах В. И.** Реле для отключения сварочного трансформатора при х. х. Харьков. Научно-иссл. ин-т охраны труда, 1940. 16 стр. с иллюстр. и схем. Ц. 2 р. 50 к.
- Магистральные электровозы** (Альбом рабочих чертежей). М., Машгиз и ред. бюро по тяж. машиностроению, 1940, т. IV. Электрические аппараты. 16 стр. текста. 214 стр. чертеж. Ц. 200 р.
- Мальт Б. А.** Усилительная и выпрямительная аппаратура. Ростов на Дону, Роствездиздат. 1940. 335 стр. с чертеж. (Ростовский на Дону кинотехникум). Ц. 11 р. 50 к., перепл. 80 к.
- Неучасов Н. М., Нисловский М. Я. и Степанов Н. М.** Проектирование автоблокировки на железнодорожном транспорте. М., Трансжелдориздат, 1941. 387 стр. с чертеж. Ц. 11 р. 25 к.
- Нормальные мотор-генераторы мощностью 50—450 kW при 1000 синхронных оборотов в минуту.** Каталог. М.—Л., Госэнергоиздат. 1941. 19 стр. с чертеж. Ц. 2 р. 25 к.
- Озерной М. И.** Электрооборудование шахты и участка. М.—Л., Гостоптехиздат, 1940. (Заочные курсы повышения квалификации шахтных механиков-практиков). 439 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 15 р.
- Основные показатели работы трамваев и троллейбусов СССР в 1939 г.** (Под ред. П. К. Пешерова). Всес. научн. инж.-техн. общ. (ВНИТО) гор. электротранспорта. Изд. Наркомхоза РСФСР., М.—Л. 1940. 8 стр. Без цены.
- Петров Г. Н., Горохов Н. В., Горяинов Ф. А., Липковский М. В., Нигусов Б. В., Сергеев П. С.** Электрические машины, ч. 1. Госэнергоиздат. 1940, 664 стр. Ц. 19 р. 50 к. в пер.
- Пионтовский Б. А.** Практические вопросы электропитания. М. Наркомсвязи СССР Центр. кабинет тех. пропаганды, 1940. 44 стр. с чертеж. Ц. 2 р.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЗА ГРАНИЦЕЙ

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

F. A. Westbrook. Необычный случай работы группы небольших промышленных ГЭС в местной электроэнергетической системе. *Power*, стр. 94—95, № 11, 1940.

Параллельная работа четырех небольших гидроэлектрических установок на р. Оттер (шт. Вермонт, США) общей мощностью 11 150 л. с., обслуживающих добычу мрамора и заводы по его обработке, представляет редкий случай создания местной промышленной электроэнергетической системы. Последняя располагает 10 подстанциями и 130 км линий электропередачи 44 kV. Эта небольшая энергетическая система, в которую входят гЭС Хэнтингтон Фолкс (2400 л. с.), Билдэнс (2400 л. с.), Проктор (6000 л. с.) и Сэнтэ Рэтленд (350 л. с.), в трех пунктах может присоединяться к мощной электроснабжающей системе общественного пользования штата Вермонт. Около 50% (между 10 000 и 15 000 MWh) годовой выработки этих небольших гидроэлектрических установок обычно продается системе общественного пользования. Наоборот, в маловодные сезоны засушливых лет малая система приобретает от последней около 500 MWh в год. Каскад гЭС обслуживается одним верховым сезонным водохранилищем, причем бьефы каждой из гидроэлектростанций рассчитаны только на суточное регулирование. В этих условиях годовое число часов использования всей группы гЭС приблизительно равно 3000. Диспетчерский пункт управления системой, находящийся на гЭС Проктор, регулирует доступ воды из водохранилища, поддерживая максимальные горизонты верхнего бьефа без перелива через плотину. Диспетчер дает указания по всей группе небольших гЭС о режиме работы агрегатов и о порядке включения электрических линий.

Канд. техн. наук Н. А. КАРАУЛОВ

S. A. Crowley. Как самим построить и оборудовать небольшую гидроэлектрическую установку. *Popular Mechanics Magazine*, стр. 466—473, № 3 (сент.) и стр. 626—630, № 4 (окт.), 1940.

Статья принадлежит к широко распространенному в США типу практических руководств по постройке и изготовлению своими силами небольших сооружений. Методы и приемы составления такого рода руководств в США достаточно разработаны и подтверждены обширной практикой, вследствие чего они не могут не представлять значительного интереса. В статье излагается описание всех работ, связанных с сооружением и оборудованием малой гЭС мощностью до 75 kW, при напорах до 12 м и расходах воды до 2,5 м³/сек, предназначенной для питания электроэнергией на низком напряжении нескольких ферм, группы загородных домов и т. д. В очень простой форме, с помощью несложных таблиц и расчетных графиков, с приложением многих наглядных чертежей и рисунков, на численных примерах, в статье ясно и вместе с тем предельно сжато излагаются основные операции: определение величины электропотребления; замер расходов воды потока; выявление высоты располагаемого напора; выбор диаметра рабочего колеса турбины; определение размеров и сооружение плотины с водосливом и водоспуском; расчет и устройство водоприемного сооружения и трубопровода; монтаж турбины с приводом, электрического генератора, распределительного щита и воздушных электрических линий. В конце статьи даются основные эксплуатационные указания. Предусматривается установка генераторов как постоянного, так и переменного тока, причем рекомендуется применять напряжение 110—120 V. Хотя указанные в руководстве строительные материалы и конструкция, а также некоторые предметы оборудования в условиях СССР едва ли могут быть рекомендованы, удачные методы, положенные в основу составления статьи, могут и должны послужить примером того, как надо популяризировать строительство несложных сельских электрических установок.

Канд. техн. наук Н. А. КАРАУЛОВ

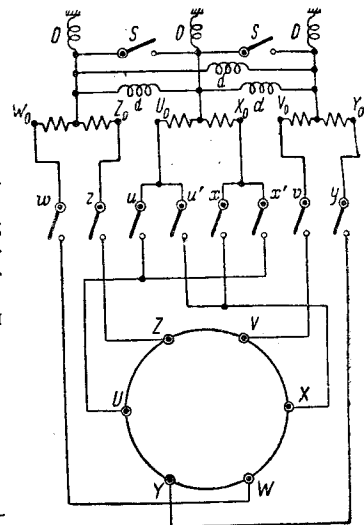
ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

H. K. Schrage. Схема передачи энергии, малочувствительная к многополюсным замыканиям. *BBC-Mitt.*, стр. 166—168, № 8, 1940.

Ответственные линии электропередачи выполняются в Западной Европе обычно в виде двухцепных линий трехфаз-

ного тока, нулевые точки которых соединены с землей через катушки Петерсена. Как известно, однофазные замыкания на землю ликвидируются в этих условиях без отключения линии, но замыкания между проводами и многополюсные замыкания на землю (около 25% общего числа замыканий) приводят к отключению одной цепи.

Для повышения надежности работы линий предлагается осуществить передачу по следующей схеме: линия питается от трех однофазных трансформаторов; конец каждой фазы присоединяется к одному из шести линейных проводов. Средние точки отдельных фаз заземляются через дроссельные катушки *D* и связываются между собой через катушки *d*. По существу такое соединение дает шестифазную схему передачи энергии.



d, D — дроссельные катушки; *U₀, V₀, W₀, X₀, Y₀, Z₀* — выводы трансформаторов; *u, v, w, x, y, z* — однополюсные выключатели (нормально включены); *u', x', s* — однополюсные выключатели (нормально отключены)

Схема позволяет ликвидировать без отключения линии как однополюсные, так двух- и трехполюсные замыкания на землю, а также междуфазные замыкания. При замыкании только между обмотки проводами одной фазы, составляющими по оценке автора 5—7% общего числа замыканий, поврежденная фаза должна быть отключена; передача энергии будет, однако, и в этом случае продолжаться по остальным четырем проводам.

Для производства ремонтных работ на линии, схема коммутации (см. рисунок) позволяет отключить без перебора питания три линейных провода, используя остальные три провода в качестве трехфазной цепи обычного типа. Чтобы обесточить, например, провода *W, X* и *V*, нужно включить выключатели *s*, отключить *u, w* и *v*, затем включить *x'* и отключить *x*.

Общее число проводов, конструкция самой линии и условия ремонта ее такие же, как для двухцепной трехфазной линии обычного типа. Концевые подстанции, однако, получаются при новой системе передачи несколько сложнее и дороже.

Инж. Я. М. ЧЕРВОНЕНКИС

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

O. Michel. Новые товарные электровозы германских железных дорог. *El. Bahnen*, стр. 149—150, Heft 9, 1940.

В дальнейшем развитии подвижного состава германских железных дорог предполагается ориентироваться на три стандартных типа электровозов: 1) электровозы серии E-18, предназначенные для пассажирских скорых поездов (для скорости до 150 km/h); 2) электровозы серии E-44 для пассажирских и легких товарных поездов (для скорости до 90 km/h) и 3) тяжелые товарные электровозы серии E-94 (для скорости до 90 km/h).

Новый стандартный товарный электровоз с формулой осей Co—Co, сцепным весом 118 t, оборудован шестью тяговыми двигателями однофазного переменного тока нормальной частоты, суммарной часовой мощностью 3240 kW. Часовая мощность трансформатора, установленного на электровозе, составляет 3380 kVA.

Электровоз обеспечивает передвижение составов весом 600 t, на подъеме 25‰, со скоростью 50 km/h.

В электрооборудовании нового электровоза заслуживает внимания экспансионный выключатель разрывной мощностью 200 MW. Электрооборудование электровоза SSW—AEG. Электровоз оборудован реостатным электрическим тормозом, рассчитанным на поглощение мощности в 675 kW. При торможении обмотки возбуждения всех 6 двигателей получают постороннее независимое питание от трансформатора. Якоря двигателей соединяются последовательно попарно. Каждые два двигателя работают в тормозном режиме, на отдельное тормозное сопротивление. Тормозные сопротивления выполнены из железной ленты и расположены, для лучшего охлаждения, на крыше электровоза.

Схема электровоза имеет 18 пусковых и 10 тормозных позиций

Инж. Ю. М. ГАЛОНЕН

A. E. Müller. Дизель-электрические поезда для нидерландских железных дорог. *BBC-Mitt., стр. 247—252, № 12, 1940.*

До настоящего времени на нидерландских ж. д. находилось в эксплуатации с 1934 г. 40 дизель-электрических трехвагонных составов, мощностью 820 л. с. каждый.

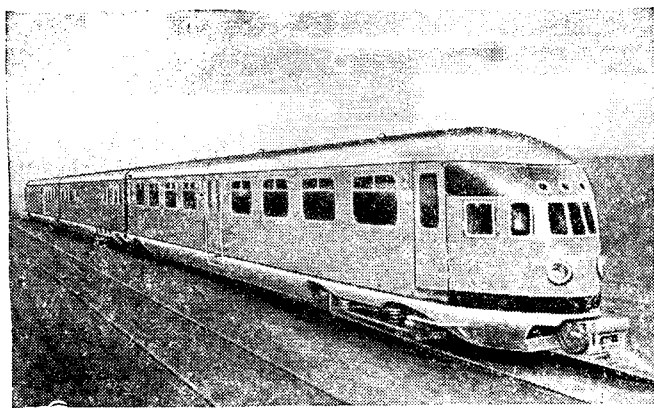
Мощность новых, вступивших в строй в 1940 г., дизель-электрических поездов составляет 1950 л. с. Дизель-электропоезда нового типа (см. рисунок) с электрооборудованием Neemaф—BBC заказаны в количестве 18 поездов. В настоящее время в эксплуатацию уже сдано 15 поездов.

Новые дизель-электропоезда являются самыми длинными двигатель-вагонными составами в Европе (длина поезда единицы составляет 109 м), служебный вес поезда, включая горючее (4800 kg) и пассажиров, составляет 270 т. Общая вместимость поезда — 390 чел.

Радиус действия поезда, без пополнения горючим, определяется в 2000 км.

Каждая поезда единица состоит из машинного вагона, на котором установлена дизель-генераторная установка, двух двигательных вагонов и двух прицепных. Помимо пневматического торможения поезд оборудован 12-электромагнитными рельсовыми тормозами. Каждый рельсовый тормозной электромагнит обладает вертикальным тормозным усилием в 11 000 kg.

В машинном вагоне установлено три дизель-генераторных агрегата Maubach—Diesel, по 650 л. с. каждый. Каждый дизель сочленен с помощью электромагнитной муфты с главным генератором часовой мощностью 370 kW при 1400 об/мин, при номинальном напряжении 425 V. Три дизель-генераторных агрегата могут работать независимо один от другого.



Общий вид нового дизель-электропоезда

На поезде установлено 6 тяговых двигателей часовой мощностью по 225 л. с. каждый, при 1000 об/мин и 425 V.

Регулирование скорости дизель-электропоезда осуществляется с помощью серворегулятора поля генератора. Кроме того, предусматривается 7 ступеней регулирования скорости дизеля.

Пробные поездки с дизель-электропоездом № 51, состоявшиеся в 1940 г. на линии Utrecht—Groningen, дали вполне благоприятные результаты. Предельная скорость нового подвижного состава, которую удалось развить при проведении испытаний, составила 178 km/h.

Инж. Ю. М. ГАЛОНЕН

Почтовая электрическая железная дорога без вожатого.
Electrician, стр. 60—61, № 3244, 1940

Главным почтамтом в г. Цюрихе пущена в эксплуатацию подземная электрическая железная дорога для перевозки почты. Участок однопутный, проложен в тоннеле длиной 1013 м. В обращении находится один электрический вагон с дистанционным управлением. Вагон двухосный, вес тары 800 kg, полезная нагрузка 250 kg. Одна ось приводится в движение трехфазным асинхронным двигателем мощностью в 3,5 л. с. (для езды на перегоне со скоростью 4,4 m/sec). Вторая ось связана с электродвигателем в 1 л. с. (для маневровой эксплуатации на станциях со скоростью 0,3 m/sec).

Переключение двигателей при подходе к станциям происходит автоматически. Новая почтовая вагонетка делает 160 рейсов в сутки.

Инж. В. Н. КОНОВАЛОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

K. Rupprecht. Развитие трехфазных коллекторных двигателей с шунтовой характеристикой и питанием со стороны статора. *AEG-Mitt., стр. 139—146, № 7/8, 1940.*

Коллекторные двигатели с шунтовой характеристикой и питанием со стороны статора или ротора известны еще с 1900 г., но практическое применение они нашли лишь с 1913 г., т. е. со времени изобретения двигателя Шраге. В настоящее время такие двигатели весьма широко применяются в шпцебумажной промышленности, на текстильных фабриках и во многих других производствах, где требуется широкое регулирование числа оборотов при питании двигателя от сети переменного тока.

Существенным успехом в развитии шунтовых коллекторных двигателей следует считать переход от питания ротора к питанию статора, устраняющий необходимость в наличии контактных колец. Исходя из экономических соображений, фирма AEG в настоящее время выпускает шунтовые коллекторные машины с питанием со стороны ротора лишь на небольшую мощность, именно до 7,5 л. с., диапазон регулирования скорости от 700 до 2100 об/мин.

Двигатели с питанием со стороны статора имеют по две статорных обмотки, одна из которых является нормальной трехфазной обмоткой, а вторая — вспомогательной, включенной в цепь подвижного регулятора и присоединенной через щетки к роторной обмотке. Регулятор представляет собой нормальный асинхронный двигатель, прифланцованный к корпусу коллекторной машины. Ротор его заторможен и с помощью передачи может поворачиваться вместе со щеточной траверсой коллекторной машины. Напряжение статорной обмотки регулятора постоянно по величине, но меняется с поворотом ротора по фазе и, складываясь геометрически с индуцированным во вспомогательной обмотке коллекторного двигателя напряжением, дает результирующее регулировочное напряжение.

Фирма AEG разработала также двойной двухобмоточный регулятор, не связанный механически с коллекторным двигателем. Это позволяет весьма компактно размещать оборудование.

Для быстрого останова двигателя, его статорная обмотка и первичная обмотка регулятора одновременно переключаются от сети на серьезное демпфирующее сопротивление, которое сильно уменьшает толчок тока без заметного снижения тормозного момента. При больших инерционных массах, сцепленных с двигателем, и частых остановках следует предусматривать дополнительные механические тормозные устройства.

Инж. А.-А. ИВАНОВ

W. Schmidt, H. Jordan. Регулирование скорости асинхронных двигателей трехфазного тока путем наложения постоянного тока. *AEG-Mitt., стр. 266—269, Heft 11/12, 1940.*

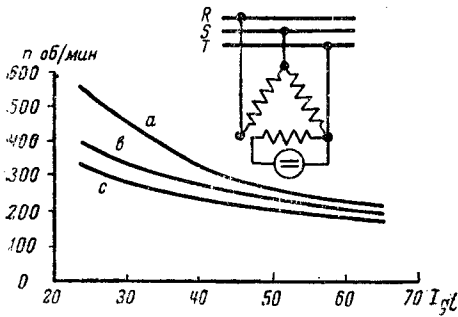
Основным недостатком асинхронных двигателей является ограниченная возможность регулирования скорости, вследствие зависимости скорости асинхронного двигателя от числа полюсов двигателя и частоты.

До настоящего времени регулирование скорости асинхронных двигателей осуществлялось путем изменения частоты, переключением числа полюсов, введением сопротивлений в цепь статора или ротора, а также включением двигателей в каскад. Все эти способы связаны, однако, за исключением способа изменения частоты, с значительными потерями. Кроме того, все названные способы, а в особенности способ регулирования частоты, значительно усложняют схему простого асинхронного двигателя.

Регулирование путем введения добавочных сопротивлений

обладает еще кроме того существенным недостатком большой зависимости скорости двигателя от нагрузки.

В реферируемой статье описываются схемы с наложением постоянного тока на контур обмотки статора. При включении источника постоянного тока последовательно в цепь одной из фаз двигателя для возбуждения этой обмотки требуется весьма значительная сила тока. Более приемлемой является схема открытого треугольника с питанием одной фазы постоянным током (см. схему).



Принципиальная схема обмоток и скорости характеристики (a, b, c) для различных сопротивлений в цепи ротора

Такое включение обеспечивает значительный диапазон регулирования скорости. Схема обеспечивает также получение постоянной, мало зависящей от нагрузки скорости. Несимметричное вращающееся магнитное поле стремится сообщить ротору синхронную скорость, тогда как постоянное поле, наоборот, стремится остановить ротор. Таким образом устанавливается число оборотов двигателя, соответствующее разности обоих моментов.

Путем изменения значения возбуждения постоянного тока, а также изменения сопротивления в цепи ротора представляется возможным осуществить плавное регулирование скорости асинхронного двигателя в широких пределах (см. кривые регулирования скорости на рисунке). Эта же схема при отключении двигателя от сети может быть использована для получения торможения двигателя.

Инж. Ю. М. ГАЛОНЕН

ЭЛЕКТРОПРИВОД

M. R. Lory, и др. Применение индукционных муфт для судовых двигателей в США. *El. Eng.*, стр. 423—428, № 8, 1940.

Индукционные муфты применяются для соединения валов судовых двигателей с редуктором винта. Муфта состоит из индуктора и якоря. Якорь имеет двухэтажную беличью клетку, аналогичную беличьей клетке ротора асинхронного двигателя. Индуктор представляет собой систему электромагнитов, аналогичных полюсам явнополюсного синхронного генератора, но охватывающих якорь извне. В описываемой конструкции индуктор крепится на валу дизеля, а якорь вкладывается в индуктор и крепится на валу редуктора скорости. Воздушный зазор между якорем и полюсами индуктора составляет около 2 мм.

При вращении дизеля индуктор, возбужденный постоянным током корабельной установки, увлекает якорь, подобно тому, как вращающееся поле увлекает ротор асинхронного двигателя. Коэффициент полезного действия электромагнитной муфты составляет 95—98%, а скольжение 1—2%.

Индукционные муфты на судах начали применять с 1935 г. В США было изготовлено 48 муфт общей мощностью 116 000 л. с. для установки на 23 судах.

При индукционной муфте отсутствует механическое соприкосновение между дизелем и редуктором. Поэтому устраняются удары и сводится к минимуму передача вибраций дизеля. Отсутствует также срабатывание частей муфты.

Момент муфты не зависит от скорости. Максимальный передаваемый момент ограничен величиной двукратного номинального момента. Поэтому исключается возможность поломки шестерней редуктора при заедании поршня и при других повреждениях одного из дизелей. Поврежденный дизель может быть для ремонта отключен от судовой установки менее чем через 1 sec, путем разрыва цепи соответствующей муфты. При этом корабль продолжает свой путь на остальных исправных машинах.

При необходимости аварийной остановки посредством индукционных муфт возможно быстро дать реверс вращения винта с полного хода «вперед» на полный ход «назад». Для этого разрывают цепь возбуждения муфт, останавливают дизель и дают им «ход назад». Затем включают возбуждение муфт.

Инж. С. В. ШТЕЙНБЕРГ

P. Troller. Автоматическое центральное управление уличным освещением. *Bull. ASE*, стр. 585—587, № 25, 1940.

Почти вся сеть уличного освещения г. Базеля, к концу 1939 г., управлялась от одних контактных часов через 116 дистанционных выключателей. Часть ламп остается включенной только половину ночи (от вечерних сумерек до полуночи и от 5 ч. 45 м. утра до утренних сумерек). Поэтому дистанционные выключатели имеют 4 разных положения: 1. Включение всех ламп в вечерние сумерки. 2. Отключение части ламп в полночь. 3. Обратное включение этих ламп в 5 ч. 45 м. 4. Отключение всех ламп в утренние сумерки.

Двигательный привод выключателей присоединен одним полюсом к нулевому проводу. Контактные часы подают напряжение к одному из двух контрольных проводов. Выключатель поворачивается на 1/4 оборота и соединяет привод с другим, в данный момент не находящимся под напряжением контрольным проводом. Момент включения и выключения автоматически изменяется со дня на день с помощью шайбы, которая сконструирована в соответствии с временем восхода и захода солнца.

Более совершенным аппаратом автоматического управления является испытанный недавно «указатель сумерек». Новый аппарат состоит из фотоэлемента, выпрямительной и усилительной ламп и двух реле. Величина яркости, на которую реагирует фотоэлемент, регулируется в широких пределах. С помощью комбинированного переключательного аппарата работа

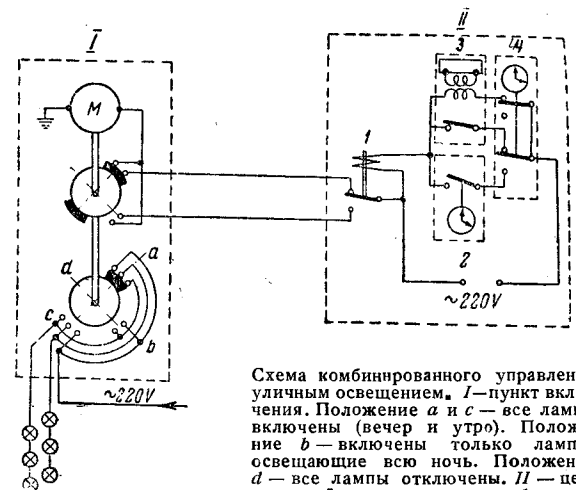


Схема комбинированного управления уличным освещением. 1—пункт включения. Положение a и c — все лампы включены (вечер и утро). Положение b — включены только лампы, освещающие всю ночь. Положение d — все лампы отключены. II — центральный пункт управления. 1 — реле выдержки времени; 2 — главные часы; 3 — указатель сумерек; 4 — переключательный аппарат.

контактных часов и фотоэлемента была объединена так, что контрольные провода присоединялись во время сумерек к фотоэлементу, а в остальное время к контактным часам.

В цепи, управляемой с помощью «указателя сумерек», установлено реле нулевого напряжения с мгновенным отпаданием при исчезновении напряжения и замедленным на 20 sec включением при восстановлении его. Эта выдержка достаточна для зажигания усилительной лампы и установки на положение «включить» или «отключить». Указатель сумерек включается контактными часами вечером и утром на 45 min.

В случае порчи фотоэлемента освещение будет включено автоматически, но с некоторым опозданием.

Инж. Г. М. НЕЙФАХ

V. Grosse u. G. Brockhaus. Первичное реле с большой устойчивостью к коротким замыканиям. *AEG-Mitt.*, стр. 77—79, Heft 3/4, 1940.

Основными элементами реле являются гистерезисный синхронный двигатель, дающий выдержку времени, и якорь, действующий на собачку выключателя. В противоположность обычным конструкциям подобных реле с последовательными воздушными промежутками для обоих элементов здесь имеются две параллельных магнитных цепи, вследствие чего значительно увеличивается сила притяжения якоря. Благодаря этому удалось вдвое снизить ампервитки обмотки (до 600) и увеличить ее термическую устойчивость (обмотка выдерживает 250-кратный номинальный ток в течение 1 sec).

Благодаря применению двойных короткозамкнутых колец увеличенных размеров удалось увеличить почти вдвое мо-

мент вращения двигателя при малых токах и устранить его торможение при больших токах.

Точность начала действия реле в отношении силы тока $\pm 1\%$ от установленной величины. Реле возвращается в исходное положение, когда ток падает до 92% от установленного значения. Точность выдержки времени $\pm 0,05$ sec. При 3 до 6-кратном номинальном токе реле работает без выдержки времени. Установочные головки реле так велики, что уставке 1 sec соответствует длина шкалы в 2 см.

Инж. Л. Б. БРОУДЕ

ВЫПРЯМИТЕЛИ

H. Bertele, G. Henselmeyer. Передвижные выпрямители средней мощности. *E u. M., стр. 546—551, Heft № 51/52, 1940.*

Отпаянный и не имеющий вакуумных насосов выпрямитель с металлическим сосудом имеет все достоинства герметической, но бьющейся стеклянной колбы, не подвержен повреждениям от тряски при перевозке. Это достоинство позволило использовать герметический выпрямитель с металлическим сосудом для оборудования передвижной выпрямительной подстанции. Такая установка состоит из смонтированных в общем шкафу сосуда с охлаждающим вентилятором, анодными дроселями и предохранителями, быстродействующего автомата и установки для зажигания и возбуждения с блокирующими конденсаторами (для защиты от радиопомех). Передвижная установка может быть присоединена к трансформатору любой стационарной подстанции.

Применение передвижных выпрямителей сильно изменит конструкцию выпрямительных подстанций малой и средней мощности, например, трамвайных и троллейбусных. Это объясняется следующими преимуществами передвижных выпрямителей: 1) удобная и простая планировка машинного зала подстанции, 2) простота распределительного устройства, 3) малая площадь поля, узкие ячейки и небольшие проходы для выкатки оборудования, 4) возможность обслуживания металлических колб передвижных выпрямителей только с фронтального прохода, 5) большая мощность, отнесенная к занимаемой площади поля, 6) удобство смены металлических колб, 7) облегчение сборки и монтажа вследствие применения нормальных взаимозаменяемых конструкций. В статье даны план и разрез подстанции на 2000 А выпрямленного тока, на которой установлены два трансформатора, каждый из которых питает по два 500 А передвижных герметических выпрямителя. Трансформаторы помещаются в камеру; крайние ячейки распределительного устройства заняты передвижными выпрямителями, затем идут ячейки маломасляных выключателей трансформаторов, средние ячейки заняты вводом и трансформатором собственных нужд. Под передвижными выпрямителями сделаны каналы для подачи охлаждающего воздуха к колбам.

Передвижные выпрямители могут работать как на подстанции с ручным управлением, так и с автоматическим.

В настоящее время SSW выпустили новый тип передвижных выпрямителей с регулировкой напряжения под нагрузкой и компаундированием.

Передвижные выпрямители изготовляются пока двух типов — на выпрямленный ток 400 и 600 А, причем подготовлен выпуск передвижных выпрямителей еще большей мощности. Конструктивный вес передвижного выпрямителя распределяется так, что 85% его падает на сосуд, анодные реакторы и аппаратуру и только 15% на тележку и вспомогательные конструкции.

Канд. техн. наук В. А. СОЛОВЬЕВ

Развитие «передвижных выпрямителей» представляет большой интерес для нашего народного хозяйства и особенно для энергоснабжения трамвайных и троллейбусных сетей.

В. С.

ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ

T. C. Campbell. Современные сталеплавильные электропечи. *Iron Age, стр. 30—32, т. 145, № 24, 1940.*

В статье приводятся некоторые сведения о современном заводе Corperweld Steel Co в Варрене, штат Огайо, США. Завод характеризуется весьма совершенным оборудованием и организацией производства. Завод в состоянии выпускать ежемесячно около 12 000 т стали и 20 000 т проката. При полной нагрузке на заводе занято всего около 600 рабочих и служащих. Приводим краткие сведения об электропечах литейного цеха этого завода.

Печи полностью автоматизированы и плавят окисленную, инструментальную, нержавеющей и другие специальные

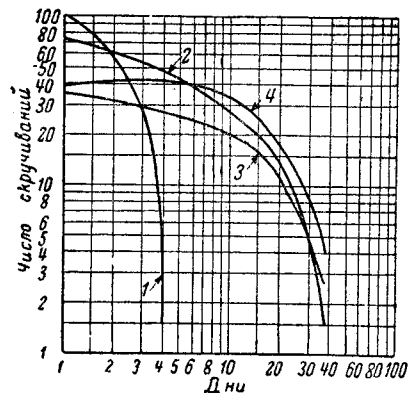
стали. На заводе установлены две 25-т печи Swindell-Dressler с мощностями трансформаторов по 12 000 kVA. Трансформаторы фирмы Westinghouse имеют по 10 ступеней напряжения, обеспечивающих, по словам автора, гибкость работы от быстрой плавки легкого скрапа до медленной выдержки и рафинирования металла. Каждая из печей может плавить одновременно 35 т. В литейном цехе имеется еще одна 6-т печь Геру. Ток подводится к печи гибкими водоохлаждающимися кабелями. Печь загружается сверху и имеет поворачивающийся свод. Подъем и поворачивание свода осуществляется помощью тяжелой гидравлической подъемной рамы, на которой имеется добавочный масляный цилиндр, обеспечивающий поворот свода в ту или другую сторону. Завалка печи осуществляется двумя грейферами с откидывающимися днищами и занимает мало времени, так как подъем и поворот свода требует в каждом направлении всего 30 sec. Печь снабжена надежнодействующей автоматикой. Для цеха и всего завода в целом характерна большая компактность размещения оборудования, в частности, печи обращены легкими друг к другу и льют металл в общую яму. Завод имеет современное оборудование для разделки и термообработки слитков. Прокатное оборудование состоит из 29-дюймового блюминга и прокатных станов в 24, 18, 12 и 9 дюймов.

Инж. М. А. ЧЕИЦОВ

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

K. N. Mathes. Испытание изоляции на истирание. *GER, стр. 467—470, № 11, 1940.*

Испытание электрической изоляции проводов на истирание очень важно, так как на практике изоляция подвергается истиранию при воздействии температурных деформаций, центробежных и других чисто механических усилий, электромагнитных усилий, тряски и вибрации, а также во время изготовления и сборки. Метод, принятый ГЕС для испытания эмалевой изоляции на истирание, уже был описан ранее¹. В реферлируемой статье излагается простой, дающий хорошо воспроизводимые и надежные результаты для испытания волокнистой и т. п. изоляции. Для этой цели ткань, лента или листовая материал наматывается до требуемой толщины (числа слоев) на металлический стержень квадратного сечения (сторона квадрата 9 mm) и укрепляется проволокой. Стержень располагается в горизонтальном положении и приводится во вращение (1 оборот в секунду). На стержень насаживается шайба из твердого металла или сплава (может быть использован карболит). К шайбе на упругой резиновой подвеске крепится груз (от 0,1 до 10 kg). При вращении стержень трется о шайбу; мерой сопротивления истиранию служит число оборотов стержня при определенном грузе, до момента истирания (который определяется по образованию металлического контакта между стержнем и шайбой) или же вес груза, при котором перетирание изоляции происходит после определенного числа оборотов.



Пропитка изоляции лаком сильно повышает стойкость ее к истиранию; например, ряд испытанных материалов при одинаковой толщине в порядке возрастания сопротивления истиранию расположился в следующей последовательности: нелакированный стеклянный шелк; нелакированный асбест; черная локаткань; ацетил-целлюлоза; лакированный стеклошелк. Таким образом, стеклошелк в результате лакирования с худшего места перешел на лучшее.

Из большого числа диаграмм данной статьи приведем лишь

¹ См. статью I. A. Weh. Новые методы испытания эмалированной проволоки, в журн. GER, стр. 203, № 5, 1939.

одну, дающую зависимость стойкости по отношению к истиранию (число оборотов, при нагрузке 6 kg) от времени выдержки (в сутках), при температуре 200° С, для различных волокнистых материалов при одинаковой толщине (по 2 слоя ленты толщиной 0,38 mm). График 1 относится к хлопчатобумажной ленте, 2 — к асбестовой, 3 — к стеклянной из штапельного волокна и 4 — к стеклянной из непрерывного волокна. Видно, что в исходном состоянии хлопчатобумажная лента дает несколько более высокую прочность по отношению к истиранию, но при тепловом старении быстро сказывается преимущество более теплостойких волокнистых материалов; лучше всех при продолжительном тепловом старении оказывается непрерывное стеклянное волокно.

Канд. техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

R. Neutwig. Мощная рентгеновская установка. *El. Anz, стр. 50—52, т. 57, 1940; El. Verw., стр. 31—32, № 1—2, 1940.*

В реферируемой статье описывается новая мощная рентгеновская установка Рентгеновского института Гамбург-Бармбекской больницы, предназначенная для глубокой терапии, главным образом, для лечения рака.

Установка работает при напряжении до 1200 kV и токе до 5 mA. Источником высокого напряжения служит трансформатор на 200 kV, который питает шестинакасадный кенотронный умножитель.

Рентгеновская трубка с непрерывной откачкой и горячим катодом состоит из шести секций, приключенных к соответствующим секциям кенотронного умножителя. Трубка имеет восемь сменных катодов, благодаря чему может работать без вскрытия около 6000 h.

При 1000 kV и 5 mA интенсивность рентгеновского излучения на расстоянии 0,5 m от антикатада соответствовала гамма-излучению 10 kg радия. Это заставило уделить серьезное внимание защите обслуживающего персонала от рентгеновских лучей. Анод трубки защищен слоем свинца толщиной 110 mm. Помещение для облучаемого пациента полностью изолировано от помещения для высоковольтной установки.

Инж. А. И. ФРОЙМАН

¹ Описанная установка значительно уступает как по напряжению, так и по мощности установке Bureau of Standards в Вашингтоне. (Прим. реф.)

СВЕТОТЕХНИКА

W. Arndt, K. Saatmann. Светотехнические соображения по светомаскировке. *Licht u. Lampe, стр. 217, № 14; стр. 293, № 18; стр. 309, № 19, 1940*

Согласно положению Германского светотехнического общества об освещении при противовоздушной обороне наиболее простым и надежным является способ механического затемнения помещений при помощи штор и занавесей.

Однако механическое затемнение не всегда и не везде возможно. Это относится в первую очередь к наружному освещению. Кроме того, существует много объектов, где требуется очень небольшая освещенность. В этих случаях вместо механического затемнения гораздо проще применять светомаскировку.

Согласно предписаниям по светомаскировке требуется, чтобы в темноте с высоты 500 m по вертикали и наклонному направлению взгляда нормальный глаз не замечал света. Здесь возникает вопрос о предельных значениях яркости в указанных условиях, не различаемых глазом. Это является сложной и до конца еще неразрешенной задачей.

Порог чувствительности глаза наблюдателя зависит от величины светящихся или освещенных поверхностей, их цвета, состояния поля окружности (например яркости неба), скорости полета, времени наблюдения и физио-психологического состояния летчика-наблюдателя, находящегося над незнакомой местностью.

Видимость светящейся поверхности сильно зависит от угла наклона этой поверхности к горизонту. Это указывает на разные требования светомаскировки, например, для окон (наклон 90°) и фонарей верхнего света (наклон около 60°).

Сущность светомаскировки помещения при помощи фильтров заключается в том, что окна и источники света снабжаются светофильтрами двух родов, прозрачность которых лежит в различных участках видимого спектра. Для оптимального использования днем естественного освещения и минимального снижения экономичности ламп, снабженных светофильтрами, при соблюдении требований светомаскировки целесообразно применение зеленого фильтра для окон при оранжево окрашенных лампах накаливания. Для устранения неравномерной яркости, неблагоприятной для светомаскировки, прибегают к изготовлению диффузных светофильтров. При использовании окрашенных ламп накаливания для получения сравнительно небольших освещенностей приходится устанавливать довольно мощные (200—300 W) лампы, вследствие чего экономичность такого освещения очень низка.

С этой точки зрения представляет большой интерес применение натриевых ламп, которые в несколько раз экономичнее ламп накаливания и, кроме того, могут быть использованы без окраски, так как зеленый фильтр непрозрачен для практически монохроматического света, излучаемого разрядом в парах натрия. Ограничение применения определяется искажением окраски при освещении натриевыми лампами, вследствие чего они не могут быть установлены там, где по характеру работы требуется распознавание цветов. Улучшение цветности излучения может быть достигнуто применением смешанного света натриевых ламп и оранжевых ламп накаливания; лампы могут быть включены последовательно, причем лампы накаливания в этом случае будут играть роль балластного сопротивления для натриевой лампы и заменять, таким образом, дроссель, необходимый для включения последней.

Большое значение имеет цветность излучения, в чем можно убедиться из следующих примеров.

При окнах, застекленных зелено-голубым фильтром, освещенность внутри помещения, при нагревом свете, может быть доведена до 80 lx, тогда как при обычных лампах накаливания, для того чтобы в темную ночь окно не было видно с высоты 500 m, освещенность не должна превышать 1 lx.

Канд. техн. наук Р. Г. ИЗВЕКОВ

Вопросы освещения при противовоздушной обороне и светомаскировке в современных условиях ведения войны являются чрезвычайно важными. Однако автор первой статьи не учитывает некоторых реальных факторов и вычисления его носят несколько отвлеченный характер, так как выводы не подкреплены опытом. Так например, советскими светотехниками установлено влияние высоты (барометрического давления) на изменение чувствительности глаз к свету различной окраски. Кроме того, на порог чувствительности глаза влияет состояние его адаптации, шум авиационного двигателя и пр.; значительную роль может играть метеорологическая дальность видимости и т. п. Если учесть эти факторы, становится ясным, можно ли, как делает автор, пользоваться кривой сумеречного зрения.

Можно выразить настойчивое пожелание, чтобы все вопросы, связанные со светомаскировкой, нашли исчерпывающий ответ у наших светотехников и физиологов. Это тем более необходимо, что в свете изложенного, целесообразность применяемых для светомаскировки синих ламп подвергается сильному сомнению.

Р. И.

Поправка

Географические названия на карте (статья И. С. Стекольниковой „Электричество“ № 3, 1941, стр. 65, рис. 5 и 6) следует читать: р. Кама, Бугульма, Уфалей, Куровская.

На стр. 64, 19 строка снизу, напечатано — 118 метеостанций, следует — 45.

На рис. 3 — время в m sec.

В № 1 „Электричество“ 1941 г., стр. 50 в сообщении „Новый импульсный генератор на 8,4 млн. вольт“ следует читать: Энергия разряда составляет 460 kWsec.

Напряжение 8,4 млн. V является номинальным напряжением относительно земли.

Отв. ред. инж. Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ

Подп. к печ. 23/IV 1941 г.

Объем 11 п. л. Уч. а. л. 13,5

60 300 экз. в п. л.

Л77693

Цена 5 руб.

Зак. 599

Тираж 9.600 экз.

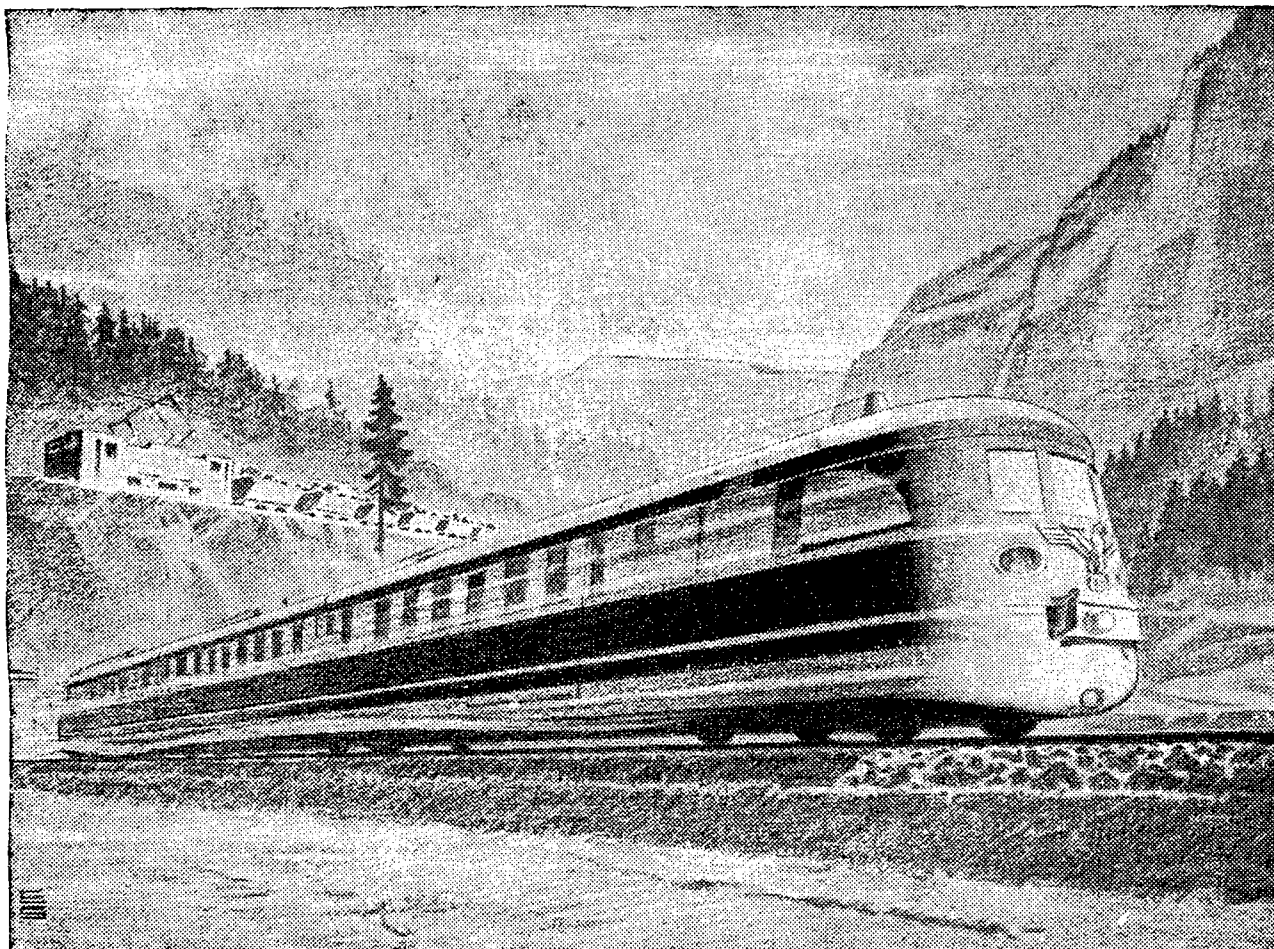
13-я гл. ОГИЗ РСФСР треста «Полиграфкнига». Москва, Денисовский, 30.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПОЕЗДОВ



Фирма Сименс проектирует и поставляет комплектные электроустановки, электрические станции и подстанции, контактные провода и магистральные линии передачи для электрических поездов всевозможных выполнений

Электрические быстроходные поезда

Трамваи и узкоколейные поезда

Поезда для рудников и для промышленности

Тяга судов

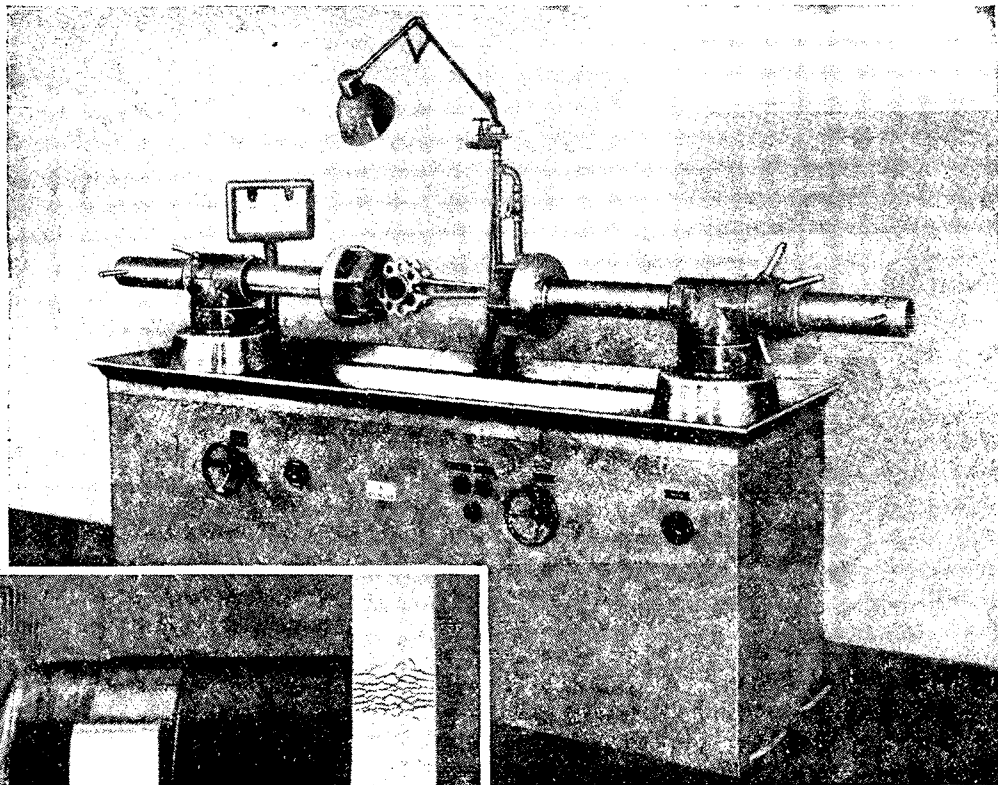
SIEMENS · SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BURO OST
BERLIN · SIEMENSSTADT

Бр 09

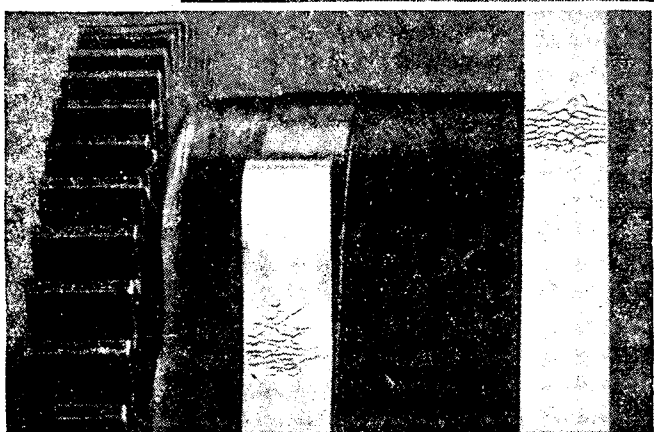
Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли



ИСПЫТАНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МАТЕРИАЛ МАГНИТНЫЙ СПОСОБ



Большой указатель трещин



Кулачковый барабан с трещинами,
появившимися после шлифовки

КОМБИНИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО

с вращающимися щеками для закрепления или с суппортами, с магнитным полем постоянного или переменного тока, для исследования конструктивных частей любой длины и формы на продольные и поперечные трещины

СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

для поточного исследования моторных цилиндров, барабанов и т. д.

ПЕРЕНОСНЫЕ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

различных видов исполнения

С запросами просим обращаться по адресу

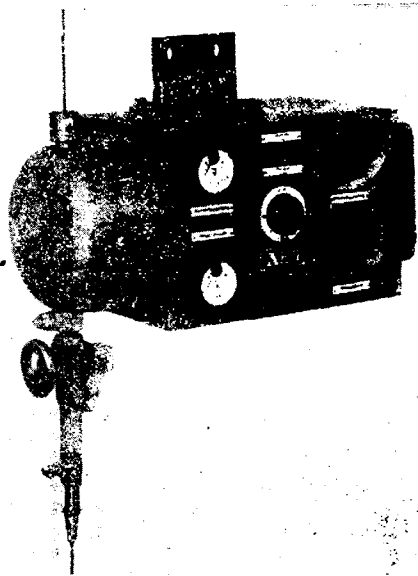
SIEMENS & HALSKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST · BERLIN-SIEMENSSTADT

Msa 008

Новая сварочная головка для автоматической непрерывной дуговой сварки проволокой.

Сообщение фирмы AEG.

Все более расширяющаяся область применения электрической дуговой сварки в связи с нехваткой квалифицированных сварщиков усиливает стремление к применению автоматических дуговых сварочных установок, дающие повышение производства и качества, где только возможно. Так как в этих установках можно производить сварку проволокой из бунта, то при применении их достигается большая экономия материала по сравнению со сваркой отдельными электродами.



1 = кожух из стального листового железа, 2 = щит управления, 3 = измерительные приборы, 4 = реверсер, 5 = регулятор сварочных напряжений, 6 = регулятор подачи проволоки, 7 = сварочное реле, 8 = выключатель управления, 9 = укрепление сварочной головки, 10 = выключение сварочной проволоки, 11 = устройство для отключения соща, 12 = направляющее сопло для сварочной проволоки.

Фиг. 1. Сварочная головка AEG типа DA для сварки проволокой из бунта.

Главной деталью автоматических дуговых сварочных установок для сварки проволокой является сварочная головка, конструкция которой не изменяется при различных моделях всей установки. Она служит для автоматического подвода сварочной проволоки из бунта в зону дуги таким образом, чтобы дуга поддерживалась неизменной и притом наиболее короткой длины.

На фиг. 1 приведена новейшая непрерывно работающая сварочная головка типа DA, разработанная на основе многолетнего опыта; ее внутреннее устройство видно из фиг. 2. Сварной ящик вмещает в себе все детали привода и регулирования, конструкция которых чрезвычайно проста и надежна, и допускает обслуживание мало квалифицированным сварщиком после короткого наставления. На передней стороне ящика, выполненной в виде распределительного щита, помещаются приборы обслуживания для пуска в ход и регулирования сварочного процесса, а также измерительные приборы для силы тока и напряжения. Головка рассчитана на длительный сварочный ток до 400 А и допускает таким образом применение проволоки как малого, так и высокого сопротивления на разрыв и прочность, а также любой легированной проволоки диаметром от 2 до 8 мм.

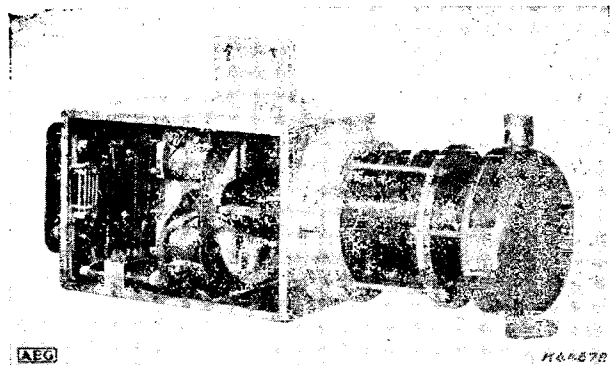
Чтобы иметь возможность, смотря по роду применяемой сварочной проволоки, работать положительным или отрицательным полюсом на электроде, не изменяя внутренних соединений, предусмотрен многополюсный переключатель, который нужно только включать в соответствующем направлении. Верхнее регулировочное сопротивление щита служит для регулировки напряжения дуги,

а следовательно и ее длины, в то время, как нижним сопротивлением может быть по желанию отрегулировано число оборотов двигателя, служащего для подачи проволоки; таким образом скорость подачи может быть в широких пределах приравливаема к диаметру проволоки и силе тока.

Установленное сбоку на ящике реле контролирует процесс сварки. Оно находится под действием напряжения дуги и работает почти без искрения и поэтому почти не нуждается в уходе. Реле обслуживает электромагнитную реверсивную муфту, так что сварочная проволока может передвигаться вперед или назад, смотря по напряжению дуги и по тому, становится ли в связи с этим длина дуги большей или меньшей. Это реле приходит однако в действие только при внезапных больших изменениях в дуге, например зажигания, так как небольшие колебания во время сварки действуют на дополнительную обмотку встречного поля двигателя, подающего проволоку, и изменяют его число оборотов. При повышении напряжения подача проволоки ускоряется, а при уменьшении — замедляется.

Чтобы иметь возможность использовать старые сварочные агрегаты с довольно высоким напряжением холостого хода для питания сварочной головки, перед подверженными опасности частями вставлено железородное сопротивление, ограничивающее автоматически силу тока в допустимых пределах.

Сходящая с катушки проволока выходит из сварочной головки через сопло длиной, соответствующей расстоянию от шва, делаемое обычно качающимся. Только при больших расстояниях между головкой и швом рекомендуется применять неподвижное сопло переменной длины. То обстоятельство, что сварочный ток подводится к проволоке только незадолго до конца сопла, дает возможность применять большую силу тока также и при ручной сварке длинными электродами, что дает значительное повышение производительности сварки. Можно считать, что скорость сварки повышается в 2—3 раза по сравнению с ручной сваркой.

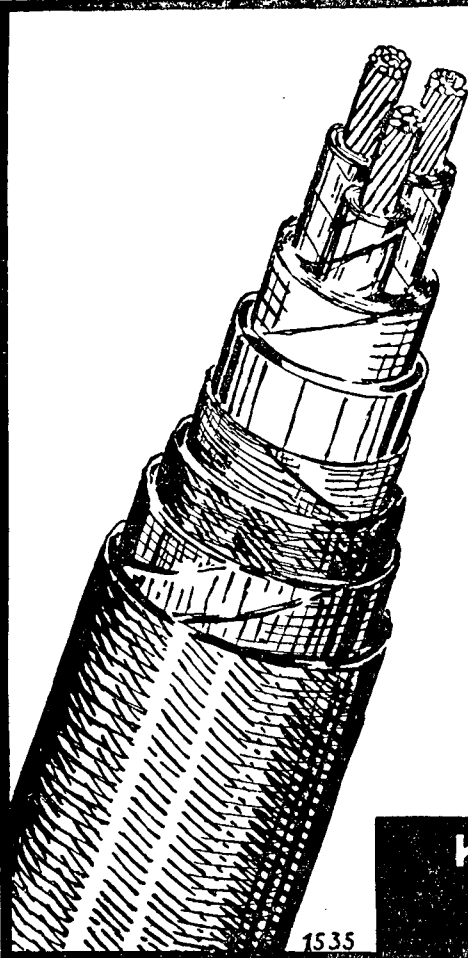


1 = редуктор, 2 = реверсивная муфта, 3 = приводный двигатель, 4 = железородное сопротивление, 5 = многополюсное штепсельное соединение, 6 = зажимный винт, 7 = присоединение сварочного тока, 8 = добавочные и регулировочные сопротивления.

Фиг. 2. Конструкция непрерывно работающей сварочной головки типа DA.

Сборка сварочной головки очень проста. Головка может быть вставлена в ящик таким образом, что сопло для проволоки будет находиться справа или слева. Редуктор может выниматься по разборке одного болта с костыльком и одного крепежного болта. Сварочная головка может, кроме того, выниматься из ящика вбок, как это показано на фиг. 2. Если разъединить многополюсное штепсельное соединение, то можно выпнуть редуктор, совершенно не разъединяя присоединений у зажимов.

Благодаря ее простоте и надежности, новая сварочная головка DA будет несомненно способствовать широкому применению автоматической дуговой сварки проволокой из бунта.



1535

Слаботочные кабели

для телефонии, телеграфии, сигнализации,
радиопередачи и телевидения

Сильноточные кабели

для высокого и низкого напряжений
для любого назначения

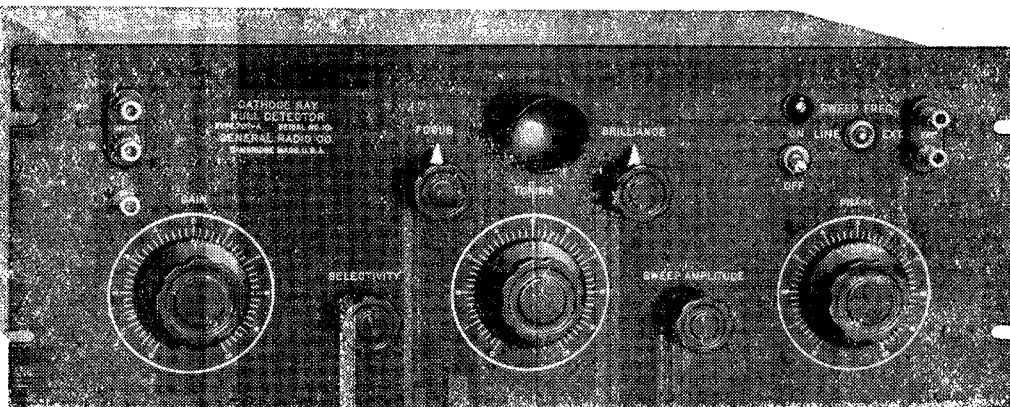
ИЗОЛИРОВОЧНЫЕ ПРОВОДА ЛЮБОГО РОДА

КАБЕЛЬНАЯ ГАРНИТУРА ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ТРУБКИ

6778

KABEL-UND GUMMIWERKE A.G.
EUPEN Германия

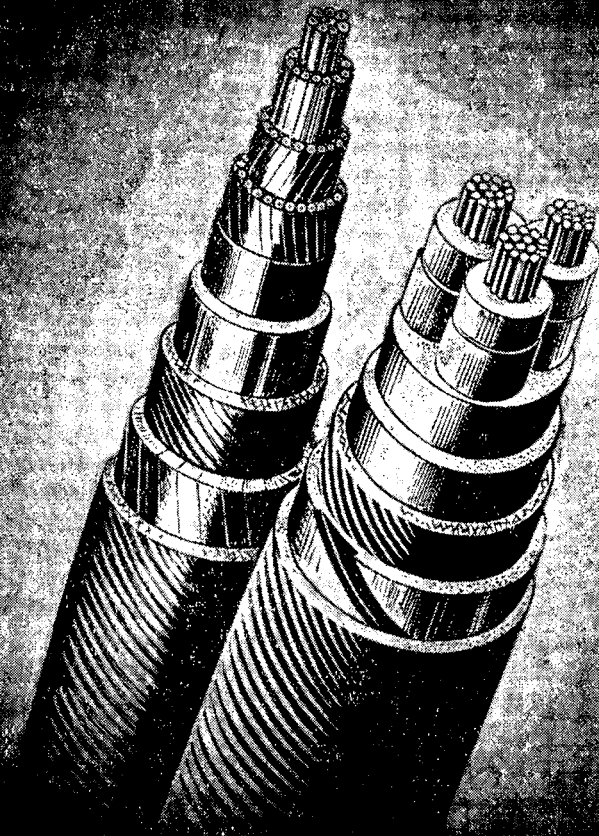
Усовершенствованный нулевой детектор чувствительность — прочность — легкость управления



Детектор тип 707-А, с 1-дм. катодной трубкой, усилительным контуром не индуктивного типа, настроенным и фазовым контролем и регулировкой чувствительности, является идеальным детектором для мостиков переменного тока. Преимущества этого прибора: возможность применения при наличии шума; неподверженность влиянию интенсивных полей; работа на любой частоте до 20 килоциклов; возможность отдельного определения компонентов омического и реактивного сопротивления; немедленное указание величины и направления отклонения любого или обоих компонентов; возможность работы при максимальной чувствительности в любых условиях, даже и при значительной несбалансированности мостика. Входной импеданс детектора 1 мегом. Чувствительность 100 микровольт при 60 циклах и 300 микровольт при 1000 циклах. Избирательность 40 децибел на второй гармонике. Катодный нулевой индикатор тип 707-А. Цена..... 195 долл.

GENERAL RADIO COMPANY

30 STATE STREET, CAMBRIDGE, MASS., U. S. A.



КАБЕЛWЕРK DUISBURG

DUISBURG

Сильноточные свинцовые кабели
для любых напряжений
осадочно-вытяжные кабели

Свинцовые телефонные кабели,
с пупинизированными катушками

Свинцовые судовые кабели

Судовые кабели без свинцовой оболочки

Изолированные провода

Провода в резиновых трубках

Изоляционные трубки



Электроизмерительные ПРИБОРЫ

для высокоточной техники, техники связи, лабораторий и испытательных станций

Felten & Guillaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim



**Ленты из медной ткани —
Ленты из медных жил**
из тонкой проволоки в 0,05 или 0,07 мм \varnothing для производства угольных щеток и других подвижных проводников тока

Эмалированные медные провода
для обмотки — тончайшие в 0,02 мм \varnothing для электроизмерительных приборов

Покрытые цветным лаком провода и жилы «Леврон»
в виде вводных и выводных концов

Проводящие медные ткани
в качестве проводников для производства телефонных шнуров

Жилы «Диамант»
в качестве ходовых тросов для привода скал у радиоаппаратов

Leonische Drahtwerke A.G.
Nürnberg (Германия)

6770

Электродинамические прецизионные высокопроизводительные скоростные весы

со стрелкой и светящимися цифрами.

Непревзойденная точность и скорость измерения

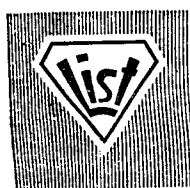


Завод электрических машин и аппаратов

Tornado FABRIK ELEKTRISCHER MASCHINEN UND APPARATE NACHFOLGER • BERLIN N 65

п. 53 г.

56



**ELEKTRO-MECHANIK
HEINRICH LIST**
TELLOW, Oderstraße
Германия

Почтовый адрес: Berlin-Zehlendorf, Selbstabholung

Мы поставляем серийным порядком:
Конструкционные детали для приборов низкого напряжения и бортовых установок для самолетов, как-то:

- Небольшие вращающиеся и поршневые магниты наивысшей мощности
- Переключательные контакторы, нечувствительные к ускорению и влияниям температур
- Перекидные выключатели
- Патроны для лампочек минимальных размеров
- Световые сигналы
- Защищенные от брызг и льющейся воды штепсельные соединения с числом контактов до 20 и еще целый ряд других специальных бортовых приборов для самолетов

Кроме того:

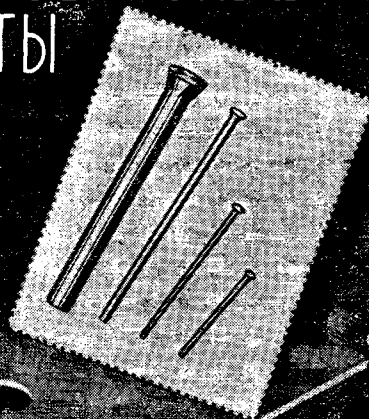
- Вибрационные испытательные установки переменной частоты до 80 гц.
- Специальные испытательные приборы любого рода по запросу

Требуйте наши проспекты!

6780

ПЕРФОРАЦИОННЫЕ и ШТАМПОВАЛЬНЫЕ ШТИФТЫ

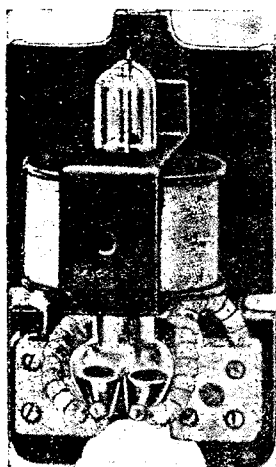
для
металла
бумаги
и т.п.



SCHUMAG

AACHEN

Германия



Надежный телевыключатель с ничтожным потреблением тока управления

РЕЛЕ ЭКО

рабочий ток	импульс тока	перегрузочные выключатели
ток в состоянии покоя	поляризация	регуляторы напряжения
переключение	замедление	автоматические переключатели запасного освещения



Реле управления с предохранительным переключением для высокочувствительных контактных инструментов

Eberle & Co. / Nürnberg 17

6777

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА, ПР. ВЛАДИМИРОВА, 4

МАРТ

МАРТ

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:

- АВТОМАТИЧЕСКИЙ** двухимпульсный регулятор питания типа „Копес“. Инструкция по монтажу, наладке и эксплуатации регулятора (типовая). (НКЭП СССР. Главкотлотурбопром. Гос. Союзный ордена Трудового Красного Знамени Невский машиностроительный завод им. В. И. Ленина). Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 50, бесплатно, тираж 1 200.
- АХУТИН А. Н.**, Сборник задач по гидравлике. Изд. 4-е, исправлен. и дополнен. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 118, ц. 4 р. 30 к. в перепл., тираж 6 000.
- БУТКЕВИЧ Ю. В., БРОНШТЕЙН А. М. и БЕРЕЖИНСКИЙ С. А.**, Дуговые выпрямители высокого давления. (Труды Всес. электротехнического ин-та, вып. 50). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 59, ц. 2 р. 25 к. в обл., тираж 1 000.
- * **ВРЕМЕННЫЕ РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по выбору предохранителей, автоматических выключателей и сечения изолированных проводов и кабелей. (НКЭС СССР. Технический отдел. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 11, ц. 60 коп., тираж 3 250.
- ГУДОВСКИЙ Г. И.**, Разметка в котельном цехе. Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., ц. 3 руб. в перепл., тираж 3 000.
- * **ИЗВЕСТИЯ** научно-исследовательского института гидротехники, т. XXVII. (НКЭС СССР. Главгидроэнергострой. Главное управление гидроэнергостроительства). Л.—М., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 271, ц. 10 руб., тираж 950.
- * **ИНСТРУКЦИЯ** по организации учета заиливания водохранилищ и прудов-охладителей. (НКЭС СССР. Технический отдел. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем — ТО-1). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 19, ц. 65 коп., тираж 1 000.
- * **ИНСТРУКЦИЯ** по эксплуатационному контролю качества пара. Составлена котельным цехом Оргрэн. (НКЭС СССР. Технический отдел. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 40, ц. 1 р. 75 к., тираж 4 500.
- * **ИНСТРУКТИВНЫЕ УКАЗАНИЯ** по экономии электроэнергии в промышленности. (Энергосбыт — Мосэнерго). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 64, бесплатно, тираж 1 500.
- * **КАТАЛОГ АВН № 5а**, вып. 3. Сигнально-блокировочные контакты типа КСАМ и комплектная передача типа КПМ для масляных выключателей внутренней установки. (НКЭП. Главэлектромашпром. Отраслевое бюро технической информации). М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 8, ц. 1 руб., тираж 2 000.
- КРАУЗ С. В.**, Электрический генератор постоянного тока высокого напряжения 80 000 в 50 квт. (Труды Всес. электротехнического ин-та, вып. 49). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 63, ц. 2 р. 25 к. в обл., тираж 1 000.
- * **НОРМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ИНСТРУКЦИИ** для проектирования гидротехнических сооружений гидростанций. Сборник № 3. (НКЭС СССР. Главгидроэнергострой. Центр. проектный кабинет). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 67, ц. 2 р. 75 к., тираж 1 500.
- * **НОРМЫ И РАСЦЕНКИ** на изыскательские работы, ч. I. Топографо-геодезические работы. Вып. II. Расценки. (НКЭС СССР. Главгидроэнергострой. Всес. Гос. трест по проектированию и изысканиям гидроэлектростанций и гидроэнергоузелов „Гидроэнергопроект“). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 319, ц. 19 руб. в перепл., тираж 1 000.
- * **НОРМЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ** проектирования гидротехнических сооружений гидростанций. Сборник № 4. (НКЭС СССР. Главгидроэнергострой. Гидроэнергопроект. Центр. проектный кабинет). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 33, ц. 1 р. 20 к., тираж 2 000.
- ПАВЛОВ Е. И.**, Стахановская работа на универсальном фрезерном станке. (Стахановская серия). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 21, ц. 40 к., тираж 1 500.
- ПОКРОВСКИЙ Н. А.**, Скрутка и изолирование силовых кабелей с бумажной изоляцией. Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 101, ц. 3 р. 25 к. в перепл., тираж 1 000.
- ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ** при эксплуатации электрических станций, подстанций и сетей. (НКЭС СССР. Энергосбыт — Ленэнерго). Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 196, ц. 7 р. 60 к. в перепл., тираж 5 000.
- ПРАВИЛА** для персонала котельных. (НКЭС СССР. Главная Гос. инспекция Котлонадзора). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 13, ц. 30 коп., тираж 20 000.
- ПРАВИЛА** устройства, установки, содержания и освидетельствования паровых котлов, пароперегревателей и водяных экономайзеров. (НКЭС СССР. Главная Гос. инспекция Котлонадзора). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 81, ц. 1 р. 60 к., тираж 10 000.
- * **ПРЕЙСКУРАНТ № 2**. Котлы и котельное вспомогательное оборудование. (НКЭП СССР. Главкотлотурбопром). Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 105, ц. 9 руб., тираж 5 000.
- ПРИВЕЗЕНЦЕВ В. А. и ТАРЕЕВ Б. М.**, Производство силовых кабелей и обмоточных проводов. Изд. 2-е, перераб. М. Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 375, ц. 10 руб. в перепл., тираж 1 500.
- РУДНЕВ С. С. и ЛЯНЦМАН П. Г.**, Боковые водосбросы. (НКЭС СССР. Главгидроэнергострой. Гидроэнергопроект. Центр. проектный кабинет). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 119, ц. 6 руб. в обл., тираж 1 500.
- * **СБОРНИК** гидроэнергопроекта № 7. Проектирование гидротехнических сооружений. (НКЭС СССР. Главгидроэнергострой. Гос. трест по изысканиям и проектированию гидроэлектростанций и гидроэнергоузелов „Гидроэнергопроект“ — Ленинградское отделение). Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 243, ц. 9 р. 75 к., тираж 700.
- * **СВОДНЫЙ КАТАЛОГ** электрооборудования. Раздел VIII. Высокочастотная аппаратура. Вып. I. Разрядники. (НКЭП. Главэлектромашпром. Отраслевое бюро технической информации). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 8, ц. 1 руб., тираж 1 500.
- * **СВОДНЫЙ КАТАЛОГ** электрооборудования. Раздел I. Асинхронные электродвигатели трехфазного тока. Вып. I. Серия АМ. (НКЭП. Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 95, ц. 15 руб., тираж 2 000.
- СТОЙЛИК М. А.**, Транспорт торфа. Утв. ГУУЗ НКЭС СССР в качестве учебного пособия для торфяных техникумов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 223, ц. 7 р. 35 к. в перепл., тираж 1 500.
- СУХОРУКОВ Ф. Т.**, Стахановская механизация обмоточно-изоляционных работ. Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 38, ц. 1 р. 20 к., тираж 1 500.
- СЫЧЕВ Н. В.**, Стахановские методы работы электросварщиков в электроаппаратостроении. Л.—М., Госэнергоиздат, стр. 33, ц. 75 коп., тираж 2 000.
- ТИПОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ** по хранению углей в открытых складах электростанций. (НКЭС СССР. Технический отдел. Типовые инструкции по эксплуатации энергетических систем (временная)). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 15, ц. 40 коп., тираж 8 000.
- * **ТРАНСФОРМАТОРЫ** для электрических нагревательных печей. Инструкция по уходу и эксплуатации. (НКЭП. Главэлектромашпром. Отраслевое бюро технической информации). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 22, бесплатно, тираж 1 000.
- * **ТРУДЫ** Ленинградского индустриального института № 3. 1940 г. Раздел электротехники. Вып. I. Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 179, ц. 10 руб., тираж 1 000.
- * **ТРУДЫ** Ленинградского индустриального института № 4. 1940 г. Раздел металлургии. Вып. I. Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 114, ц. 7 руб., тираж 1 000.
- * **ШНЕЙДЕРМАН Б. А.**, Котельный агрегат НЗЛ С-60/34. Описание и конструкция по эксплуатации. (НКЭП СССР. Главкотлотурбопром. Гос. Союзный ордена Трудового Красного Знамени Невский машиностроительный завод им. В. И. Ленина). Л.—М., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 96, бесплатно, тираж 1 200.
- ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩИЕ материалы.** Под ред. К. А. Андрианова. (Труды Всес. электротехнического ин-та, вып. 82). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 102, ц. 4 р. 25 к., тираж 1 000.

ЗАКАЗНЫЕ ИЗДАНИЯ, ОТМЕЧЕННЫЕ ЗВЕЗДОЧКОЙ (*), ИЗДАТЕЛЬСТВО СДАЕТ НЕПОСРЕДСТВЕННО ЗАКАЗЧИКАМ; ОСТАЛЬНЫЕ ИЗДАНИЯ ПОСТУПАЮТ ДЛЯ ПРОДАЖИ В КНИГОТОРГОВУЮ СЕТЬ.
САМО ИЗДАТЕЛЬСТВО НИКАКИХ ИЗДАНИЙ НЕ ВЫСЫЛАЕТ.