

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

10
1946
ОКТЯБРЬ

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

СОДЕРЖАНИЕ

М. А. Шателен — Знаменательная дата в развитии электрификации СССР	3
Я. И. Френкель — Атмосферное электричество и грозовые явления	5
И. И. Соловьев — Развитие релейной защиты и автоматики энергосистем	16
И. С. Стекольников — Современное состояние катодной осциллографии	28
А. Л. Гольдман и В. В. Дружинин — Магнитные свойства холоднокатаной трансформа- торной стали	39
Г. И. Штурман — Индукционные машины с разомкнутым магнитопроводом	43
К. В. Урнов — Системы Леонарда с вольтодобавочными машинами для широкого электри- ческого регулирования скорости	51
Э. Д. Кравчик — Анализ влияния отдельных параметров на коэффициент мощности асин- хронных двигателей	54
В. В. Андреев — Аналитическое решение уравнений четырехполюсника и его применение к расчету линий электропередачи	56
А. И. Москвитин — Машина с переменными параметрами в качестве спидометра-часто- томера	57
А. П. Новиков — Преобразование электрического многоугольника в эквивалентную звезду	59
В. О. Арутюнов — Ферродинамический компенсационный логометр	62
Правила и нормы	65
Хроника	68
Библиография	81
Рефераты	84



160300, г. Вологда, ГСЯ,
ул. М. И. Ульяновой, до: 1
Вологодская областная
Библиотека им. Н. В. Бабштина

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Академик Б. Е. Веденеев (отв. редактор), член-корр. АН СССР
А. И. Берг, доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич**, доктор техн. наук,
проф. **А. А. Глазунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик
В. Ф. Миткевич, академик **Н. Д. Папалекси**, доктор техн. наук, проф.
Г. Н. Петров, канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, инж. **А. И. Товсто-
палов**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**

Ответственный секретарь инж. **Я. А. Климовицкий**

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

Знаменательная дата в развитии электрификации СССР

К 25-летию VIII Всероссийского электротехнического съезда

Член-корреспондент Академии наук СССР М. А. ШАТЕЛЕН

Двадцать пять лет тому назад, 1—10 октября 1921 г., в Москве состоялся VIII Всероссийский электротехнический съезд. Этот съезд создал эпоху в истории нашей электротехнической общественности и имел большое значение для развития электрификации СССР.

Значение этого съезда станет понятным, если вспомнить, что он был созван по особому декрету Совета Народных Комиссаров со специальной целью обсуждения плана электрификации России, незадолго перед этим составленного под руководством В. И. Ленина Государственной комиссией по электрификации России.

«В целях всестороннего обсуждения технико-экономических вопросов, связанных с осуществлением плана электрификации России, — гласит Декрет Совета Народных Комиссаров от 8 февраля 1921 г.¹, — а также привлечения широких народных масс к активному участию в деле электрификации народного хозяйства созвать, не позже 1 апреля 1921 г., в Москве VIII Всероссийский Электротехнический Съезд из представителей центральных и местных правительственных учреждений, органов Народного Хозяйства, промышленных предприятий, специальных школ, научно-технических и иных учреждений и общественных организаций, ближайшим образом заинтересованных в использовании электрической энергии для целей развития производительных сил страны, а также из особо приглашенных ученых и специалистов».

Таким образом, впервые в истории русской электротехнической общественности перед ней была поставлена правительством задача обсуждения государственного плана и при том такого, которому правительство придавало особо важное значение. Передовая советская научная и инженерная общественность ответила на призыв правительства дружной работой.

В трудах съезда принимали активное участие 893 делегата, прибывшие из 102 городов Советской России.

Незабываемое впечатление произвело на делегатов съезда письмо Владимира Ильича Ленина.

¹ Собр. узаконений и распоряжений Раб. и Кр. правительства № 10 (14 февраля 1921 г.).

«Крайне сожалею, — писал Владимир Ильич в своем письме от 8 октября 1921 г.², — что мне не удалось лично приветствовать съезд.

О значении книги «План электрификации» и еще более самой электрификации мне доводилось высказываться не раз. Крупная машинная промышленность и перенесение ее в земледелие есть единственная экономическая база социализма, единственная база для успешной борьбы за избавление человечества от ига капитала, от избиения и калечения десятков миллионов людей для решения вопроса, будет ли иметь перевес в разделе земли хищник английский или немецкий, японский или американский и т. п.

Рабоче-крестьянская советская республика начала систематическую и планомерную электрификацию нашей страны. Как ни скудно, как ни скромно наше начало, как ни невероятно велики трудности этого дела для страны, которую разорили помещики и капиталисты 4-х летней империалистской и 3-х летней пражданской войной, для страны, которую подкарауливает буржуазия всего мира, желая раздавить ее и превратить в свою колонию, как ни мучительно медленно идет вперед электрификация у нас, а все же она идет вперед. При помощи вашего съезда, при помощи всех электротехников России и ряда лучших, передовых ученых сил всего мира, при героических усилиях авангарда рабочих и трудящихся крестьян мы эту задачу осилим, мы электрификацию страны создадим.

Приветствую VIII Всероссийский съезд электротехников и желаю ему всяческого успеха в его работах.

Председатель Совета Народных Комиссаров —
В. Ульянов (Ленин).

Письмо это, полученное уже во время работы съезда, возбудило чрезвычайный энтузиазм.

В результате долгого и всестороннего обсуждения плана электрификации съезд вынес постановление, в котором подтвердил правильность и важность разработанного плана электрификации, и принял также ряд отдельных резолюций по вопросам электрификации Юга, Северо-Западного

² Собр. сочинений В. И. Ленин, III изд., том XXV, стр. 21.

края, Уральского района, Сибири, Средней Азии, Юго-Востока, по вопросам электрификации сельского хозяйства, железных дорог, нефтяной и металлургической промышленности, по задачам организации электропромышленности, по осветительным нормам, электротехническим правилам и т. п.

Работа VIII Электротехнического съезда получила полное одобрение со стороны В. И. Ленина в его докладе на IX Всероссийском съезде Советов (декабрь, 1921 г.). В этом докладе Владимир Ильич сказал, что съезд «дал серьезнейший и богатейший материал, проверку лучшими техническими и научными силами России того плана, который является единственно научно проверенным, кратчайшим и ближайшим планом для восстановления нашей крупной промышленности, требующим для выполнения не менее 10—15 лет»³.

Со времени VIII Всероссийского электротехнического съезда прошло 25 лет. За этот исторический период развитие электрификации СССР двинулось вперед невиданными темпами. Выполнение плана ГОЭЛРО и планов сталинских пятилеток поставило нашу страну на одно из первых мест в мире и на первое место в Европе по производству электроэнергии. Созданные в СССР энергомашиностроение и электропромышленность способны выпускать самые совершенные и самые мощные машины и разнообразие виды электрооборудования. Много сделано в области использования богатейших запасов гидроэнергетических ресурсов, использования местного топлива, особенно торфа, развития теплофикации и создания мощных районных энергоснабжающих систем.

За истекшие 25 лет полностью сбылось замечательное ленинское предвидение о реальности осуществления грандиозного плана социалистической реконструкции всего народного хозяйства нашей страны на базе электрификации. Полностью оправдалась высокая оценка плана электрификации, данная И. В. Сталиным в его известном письме В. И. Ленину о плане ГОЭЛРО, в письме, 25-летие которого исполнилось также в текущем году.

Под гениальным водительством И. В. Сталина советский народ создал крупную машинную промышленность, успешно осуществив индустриализацию страны. Коллективизация сельского хозяйства направила нашу деревню по пути социалистического развития. Славная Красная Армия, руководимая товарищем Сталиным, разгромила в Великой Отечественной войне немецких и японских хищников и одержала победу всемирно-исторического значения.

К 1940 г. мощность наших электростанций по сравнению с 1921 г., когда началось осуществление плана ГОЭЛРО, выросла почти в

10 раз — с 1 228 тыс. kW до 11 187 тыс. kW, а выработка электроэнергии выросла с 0,52 млрд. kWh, до 48,3 млрд. kWh, или в 93 раза.

Наряду с широкой электрификацией промышленности происходило внедрение электрической энергии на транспорте и в сельском хозяйстве.

Новая сталинская пятилетка предусматривает полное восстановление электростанций в районах, подвергавшихся немецко-фашистской оккупации, и дальнейшее развертывание электрификации в еще более значительных масштабах.

К 1950 г. должно быть введено в действие на всех электростанциях СССР 11,7 млн. kW стем, чтобы установленная мощность электростанций была доведена до 22,4 млн. kW. Выработка электроэнергии в 1950 г. должна быть на 70% больше, чем в 1940 г.

В новой пятилетке широко развертывается строительство гидроэлектростанций и всемерно повышается удельный вес гидроэлектроэнергии в выработке электроэнергии по народному хозяйству. За пятилетие должно быть введено в действие гидроэлектростанций на общую мощность 2 300 тыс. kW. По малым гидроэлектростанциям будет введена мощность в 1 млн. kW. Все более широкое внедрение получает индивидуальный автоматизированный электрический привод в промышленности, осуществляется постепенный переход к электроприводу, органически связанному с исполнительными механизмами рабочих машин. Наряду с дальнейшей электрификацией промышленности в новой пятилетке должен быть осуществлен переход к более широкой электрификации железнодорожного транспорта и сельского хозяйства. Широко должна внедряться новейшая энергетическая техника. Пар высокого давления и высокой температуры, электропередачи постоянного тока высокого напряжения, автоматизация производственных процессов выработки и распределения электроэнергии, водородное охлаждение генераторов, новые типы электрических машин, аппаратов и электроизмерительных приборов, безмасляные выключатели, комплектные электрические подстанции, автоматическое управление и автоматический контроль на электрической основе и электротехнологические процессы в различных отраслях промышленности и т. п., — характеризуют собой важные элементы технического прогресса советской электрификации.

В осуществлении большой программы дальнейшего развития ленинско-сталинской электрификации видная роль принадлежит нашей научной электротехнической общественности.

За двадцать пять лет, прошедших со времени VIII Всероссийского электротехнического съезда, пройден славный путь в развитии электрификации СССР. Отмечая знаменательную дату, советские ученые и инженеры-энергетики мобилизуют свои знания и силы на разрешение великих задач сталинской пятилетки.

³ Собр. сочинений В. И. Ленина, III изд., том XXVII, стр. 131.



Атмосферное электричество и грозовые явления

Член-корр. Академии наук СССР Я. И. ФРЕНКЕЛЬ

1. Основные эмпирические данные. 1. *Электрическая природа грозовых явлений.* Грозовые явления, подобно многим другим обыденным явлениям, знакомым человеку с самой глубокой древности, оставались совершенно непонятными до тех пор, пока развитие физики не привело к открытию и экспериментальному изучению аналогичных явлений в лабораторных условиях и пока исследователю не открылось маскируемое различие масштаба сходство между миниатюрной лабораторной моделью и грандиозным естественным явлением. Лишь в XVIII в. ученые пришли к той мысли, что искра, проскакивающая между двумя противоположно наэлектризованными телами, представляет собой аналог молнии, а сопровождающий ее треск — аналог грома.

Электрическая теория грозы окончательно укрепилась на основе известных работ Франклина и Ломоносова, а также их продолжателей (один из них — Рихман, павший жертвой своих опытов в Академии наук в Петербурге). Несмотря, однако, на громадные успехи в развитии учения об электричестве в XIX и XX вв., а также в изучении явлений атмосферного электричества, механизм этих явлений остается до сих пор не вполне ясным.

2. *Атмосферное электрическое поле при ясной погоде.* Важнейшим шагом в развитии учения об атмосферном электричестве явилось установление того факта, что электрическое поле существует в атмосфере не только во время грозы, но и при совершенно ясном небе. Это «нормальное» электрическое поле направлено вертикально вниз. У поверхности земли оно достигает максимального значения — порядка одного вольта на сантиметр, и постепенно убывает с высотой, практически исчезая на границе тропосферы (на высоте порядка 10—12 км). В грозовых условиях электрическое поле над земной поверхностью имеет обычно направление, противоположное нормальному, достигая при этом стократных и даже еще более высоких значений (по крайней мере в тех областях грозовых облаков, где возникают грозовые разряды).

Известны различные теории статического характера о происхождении атмосферного электричества. Предполагается динамическая теория атмосферного электричества. Согласно этой теории генераторами атмосферного электрического поля являются облака с их отрицательно заряженными капельками или льдинками, опускающимися под влиянием силы тяжести по отношению к окружающему положительно заряженному воздуху. Этому явлению сопутствует непрерывное выделение положительных и отрицательных зарядов на верхней и нижней кромках облаков и непрерывное же рассасывание зарядов, которое происходит вследствие наличия электрических токов, замыкающихся через верхние слои земли. Статья является изложением доклада автора на Общем собрании Академии наук СССР в июне 1946 г.

Строение нормального электрического поля свидетельствует о том, что при отсутствии облаков поверхность земли заряжена отрицательно, а атмосферный воздух содержит положительный заряд равной величины, распределенный более или менее равномерно в нижнем его слое — тропосфере. Если бы те же самые условия относились к тем

областям земли, которые покрыты облаками, то земной шар можно было бы рассматривать как гигантский электрический конденсатор, внутренняя обкладка которого образована земной поверхностью и заряжена отрицательно, а наружная, образованная нижними слоями атмосферы с толщиной порядка 10 км, — положительно.

3. *Атмосферное электрическое поле облаков.* Исследования последних 10—15 лет показали, однако, что эта картина не соответствует действительности. Как уже упоминалось выше, электрическое поле под грозовыми облаками гораздо интенсивнее нормального и имеет противоположный знак, т. е. направлено снизу вверх. Такое же отрицательное направление при значительно меньшей величине оно часто сохраняет и в случае негрозовых облаков. Таким образом, под облаками поверхность земли заряжена, как правило, положительно, тогда как нижняя сторона этих облаков имеет заряд отрицательного знака.

Исследования английского геофизика Симпсона, произведенные незадолго до войны, показали далее, что верхняя часть облаков, как грозовых, так отчасти негрозовых, — имеет положительный заряд, так что внутри облака электрическое поле направлено сверху вниз, а над облаком — снизу вверх, т. е. так же, как и под облаком (рис. 1). Оказалось при этом, что средняя напряженность поля внутри облаков имеет порядок сотен вольт на сантиметр, что примерно в сто раз больше напряженности нормального поля над земной поверхностью при ясном небе (и в сто раз меньше той, которая требуется для возникновения молнии).

Таким образом, те аномально высокие напряжения, порядка десяти тысяч вольт на сантиметр, которые требуются для возникновения мол-

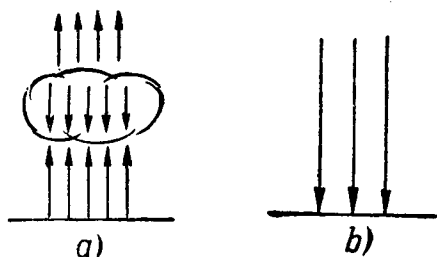


Рис. 1. *a*—электрическое поле в районе облака; *b*—электрическое поле над безоблачной территорией.

нии, должны быть локализованы в сравнительно небольших участках грозовых облаков. Это обстоятельство согласуется с современными представлениями о механизме распространения грозового разряда: раз возникнув, разряд может распространяться в виде постепенно удлиняющегося канала при сравнительно слабом внешнем электрическом поле.

4. *Ионизация и электропроводность атмосферного воздуха.* Атмосферный воздух не является идеальным электрическим изолятором. Он обладает хотя и весьма малой, но все же конечной электропроводностью, обусловленной наличием в нем наряду с нейтральными молекулами небольшого количества ионов — частиц, заряженных положительно или отрицательно, и приблизительно в эквивалентных количествах (около одной тысячи на кубический сантиметр). Ионизация атмосферного воздуха вызывается, главным образом, действием так называемых космических лучей, которые проникают на землю из мирового пространства, а также отчасти вблизи суши, — выделяемыми ею летучими радиоактивными веществами. Интенсивность космических лучей постепенно убывает по мере их проникновения в атмосферу. Плотность атмосферы при приближении к земной поверхности возрастает, поэтому степень ионизации воздуха, а следовательно, и электропроводность его сначала (т. е. по мере приближения к поверхности земли) возрастает, достигая максимума на высоте около 18 км, а затем постепенно уменьшается. У поверхности земли, на уровне моря, она примерно в 30 раз меньше, чем на высоте 10—12 км.

Вследствие электропроводности атмосферного воздуха электрические заряды сосредоточенные на поверхности земли и на частицах, образующих облака, а также в самом воздухе, должны были бы «рассеиваться», подобно тому, как рассеивается заряд всякого наэлектризованного тела, соприкасающегося с воздухом, при отсутствии какого-либо источника электричества, например, электрической машины, непрерывно пополняющего убыль заряда, обусловленную его рассеянием.

5. *Электрическая поляризация тропосферы и деполяризационные токи.* Понятия «электризации» и «рассеяния электрического заряда» вызывают не совсем правильное представление о сущности соответствующих процессов. Электризация одних тел, образующих рассматриваемую систе-

му, всегда предполагает электризацию других тел зарядом противоположного знака. Рассматривая всю систему в целом, мы должны, таким образом, говорить не об электризации ее, а о пространственном разделении электрических зарядов противоположного знака. В случае одной системы, например атмосферного воздуха, этот процесс называется электрической поляризацией. Противоположный процесс — воссоединения зарядов противоположного знака или деполяризация — образует сущность рассеяния электрических зарядов. Таким образом, это «рассеяние» обозначает перетекание положительных зарядов к отрицательным или отрицательных к положительным, или же то и другое. Подобное движение электрических зарядов образует электрический ток. Направление тока совпадает с направлением электрических силовых линий, а сила, или, вернее, его плотность¹, выражается произведением напряженности электрического поля на удельную электропроводность среды, т. е. в интересующем нас случае воздуха.

При ясном небе электрический ток течет вниз — от положительно заряженного воздуха к отрицательно заряженной поверхности земли, а под грозовыми (или им подобными) облаками — вверх, от земной поверхности к нижней поверхности облака.

Исходя из величины электропроводности воздуха, легко вычислить, что этот «деполяризационный» или «разрядный» ток должен был бы ликвидировать то пространственное разделение зарядов, которым обусловлено электрическое поле, примерно в 10—20 мин. Таким образом, возникает вопрос о механизме поддержания атмосферного электрического поля, т. е., другими словами, о природе того электрического генератора, который обеспечивает непрерывное восстановление электрической поляризации тропосферы.

II. *Начальное разделение электрических зарядов в атмосфере.* 6. *Облако, как коллоидная система и отрицательная электризация образующих его частиц.* Всякое облако представляет собой дисперсную систему, состоящую из маленьких капель воды или ледяных кристалликов (снежинок), которые медленно опускаются по отношению к воздуху, играющему роль дисперсной среды.

При наличии в воздухе положительных и отрицательных ионов (обуславливающих его электропроводность) эти ионы должны присоединяться к каплям воды или кристалликам льда, образующим облако, и притом, вообще говоря, в различных количествах, что приводит к электризации этих частиц. Аналогичные явления наблюдаются во всяком коллоидном растворе при наличии ионов в дисперсной среде. Обычно подобной средой является водный раствор какого-либо электролита, частично диссоциированного на ионы. При этом к частицам дисперс-

¹ Количество электричества, перетекающее за единицу времени через единицу площади.

ной фазы присоединяются преимущественно ионы одного знака, заряжающие эти частицы до определенного электрического потенциала (так называемой «электрокинетический потенциал»), тогда как дисперсная среда приобретает объемный заряд противоположного знака. Если плотность заряда велика, он имеет тенденцию концентрироваться вблизи поверхности частиц дисперсной фазы. В противоположном случае он распределяется более или менее равномерно по всему объему дисперсной среды.

Опыт показывает, что, находясь в ионизованном воздухе, капельки воды электризуются отрицательно, т. е. притягивают к себе преимущественно ионы отрицательного знака².

Этот факт связан, повидимому, с поляризацией воды, т. е. с перманентной электрической поляризацией отдельных молекул воды и с частичной ориентацией этих молекул в поверхностном слое воды положительными концами внутрь, а отрицательными — наружу.

Этому соответствует скачок потенциала при переходе через поверхность воды примерно на 0,25 В (согласно данным А. Н. Фрумкина и вычислениям его сотрудника Темкина). При таких условиях захват нейтральной каплейкой воды отрицательных ионов из окружающего воздуха оказывается более выгодным с энергетической точки зрения, чем захват положительных ионов. В результате капельки воды должны заряжаться отрицательно до потенциала U , равного и противоположного скачку потенциала на их поверхности, т. е., следовательно, до потенциала 0,25 В (дальнейший захват ионов обоих знаков оказывается при таких условиях одинаково выгодным — или не выгодным). Необходимый для этого отрицательный заряд каплей оказывается прямо пропорциональным их радиусу, т. е. $q = rU$.

7. Дополнительная электризация и перезарядка крупных водяных капель. Описанное состояние присуще капелькам очень малых размеров (с радиусом порядка 10^{-3} см и меньше), образующим основную массу облака. В случае капелек больших размеров, выпадающих в виде дождя, существенную роль начинает играть электрическая поляризация капель, вызываемая действием атмосферного электрического поля E . Действие это сводится к тому, что одна из половин капли, например, нижняя, если поле направлено сверху вниз, заряжается положительно, а другая — отрицательно. При этом отрицательно заряженное полушарие притягивает положительные ионы, а положительно заряженное — отрицательные, как показано на рис. 2. В результате присоединения притягивае-

мых ионов к соответствующим полушариям индуцированные внешним полем заряды их уменьшаются, но при этом в неодинаковой степени. А именно, большей эффективностью обладают те ионы, концентрация которых в воздухе больше и которым поэтому принадлежит большая доля в удельной электропроводности воздуха λ , т. е., следовательно, положительные ионы.

Таким образом, приток положительных ионов к отрицательно заряженному полушарию капли уменьшает заряд последнего в большей степени, чем приток отрицательных ионов к положительно заряженному полушарию. В результате капля в целом приобретает дополнительный заряд положительного знака. Нетрудно показать, что этот дополнительный заряд q' , связанный с индукционным эффектом атмосферного электрического поля, пропорционален напряженности поля E и поверхности капли, т. е. квадрату ее радиуса³. Пока размеры капли достаточно малы, этот дополнительный заряд лишь незначительно уменьшает ее основной отрицательный заряд, который обусловлен преимущественным сродством ее к отрицательным ионам и пропорционален первой степени радиуса. Если, однако, радиус капли превышает некоторое критическое значение, то «дополнительный» заряд оказывается больше «основного», так что капля приобретает результирующий заряд положительного знака.

8. Электрический заряд атмосферных осадков. Предыдущие соображения объясняют тот факт, что дождевым каплям, выпадающим на поверхность земли и имеющим радиус порядка одного-двух миллиметров, присущ преимущественно положительный заряд. Во время своего падения, продолжающегося многие минуты, в аномально сильном электрическом поле, господствующем внутри облака, а также между последним и земной поверхностью, они успевают перезарядиться, т. е. изменить свой первоначальный отрицательный заряд на положительный.

Можно считать установленным тот факт, что электрический заряд, приносимый на поверхность земли атмосферными осадками, имеет преимущественно положительный знак. Таким образом, вопреки мнению, неоднократно высказывавшемуся ранее, отрицательная электризация земной поверхности — в безоблачных районах —

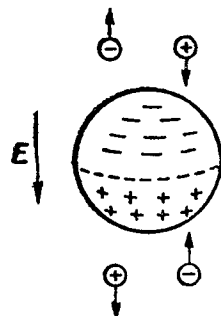


Рис. 2. Капля воды с ориентированными дипольными молекулами в поверхностном слое.

² При наблюдении этого явления в камере Вильсона оно обычно неправильно интерпретируется, как результат конденсации пересыщенного водяного пара на отрицательных ионах. В действительности образование зародышевых капелек происходит без участия ионов. Роль последних заключается в стабилизации капелек, к которым они присоединяются, т. е. к задержке испарения этих капелек, в результате чего они могут достигнуть размеров, при которых рост их в пересыщенном паре может продолжаться неограниченно.

³ Вычисления Г. Л. Друкарева показывают, что в стационарном состоянии этот заряд равен приблизительно

$$Er^2 \frac{\lambda_+ - \lambda_-}{\lambda_+ + \lambda_-}$$
, где λ_+ и λ_- обозначают доли общей электропроводности воздуха, принадлежащие соответственно положительным и отрицательным ионам. Он связан с увеличением той части поверхности капли, которая заряжена положительно за счет отрицательно заряженной части ее поверхности.

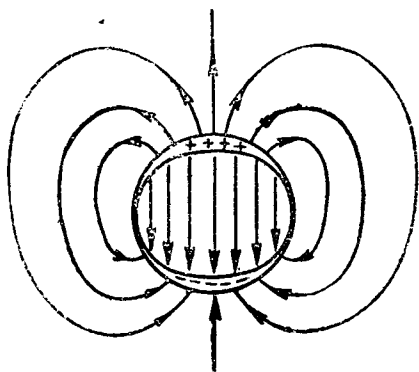


Рис. 3. Электрическое поле однородно поляризованного шара облака.

не может быть обусловлена или поддерживаться атмосферными осадками. Под облаками, где поверхность земли заряжена положительно, атмосферные осадки должны способствовать если не увеличению, то по крайней мере поддержанию этого заряда. Следует, впрочем, заметить, что в случае грозных облаков этот эффект более чем компенсируется грозными разрядами, т. е. молниями, которые, как показывают исследования последних 10 лет, практически всегда приносят на поверхность земли отрицательный заряд и притом превышающий положительный заряд осадков. К этому вопросу мы вернемся ниже.

III. Облака, как генераторы электрического поля и электрической циркуляции в атмосфере.

9. *Электрическая поляризация облака под влиянием силы тяжести.* Положительная электризация крупных (дождевых) капель несколько не противоречит нашему исходному представлению об отрицательном заряде маленьких капель воды с радиусом порядка сотой доли миллиметра, образующих облака⁴. Мы покажем теперь, что эта концепция в связи с представлением о ионизации воздуха, лежащем в его основе, дает ключ к пониманию того механизма, которым обусловлено возникновение и поддержание атмосферного электрического поля.

Отрицательно заряженные капельки воды, образующие облако, должны опускаться по отношению к окружающему воздуху со скоростью порядка нескольких миллиметров в секунду. Что же касается остающихся в воздухе ионов, то ввиду их малой массы (равной массе молекул или превышающей ее в несколько раз в случае комплексов, образующихся путем присоединения к иону нескольких нейтральных молекул)⁵ сила тяжести не оказывает на них непосредственного влияния. Если бы, однако, при падении облачных капель ионы оставались неподвижными по отношению к воздуху, то положительный заряд его, обусловленный избыточным содержанием

положительных ионов, должен был бы все более отделяться от отрицательного заряда, связанного с каплями.

Представим себе, например, что облако имеет форму шара и что в некоторый начальный момент времени $t=0$ обе составных его части — отрицательно заряженный шар, состоящий из капелек воды, и положительно заряженный шар, состоящий из воздуха с избытком положительных ионов, совпадают друг с другом. Тогда через некоторое время t первый шар опустится по отношению ко второму на расстояние vt , где v — скорость падения капель по отношению к воздуху. При этом в промежутке между обоими нижними полушариями будет заключен некомпенсированный отрицательный заряд водяных капель, а в промежутке между обоими верхними полушариями — равный ему по величине положительный заряд выделившегося из облака воздуха (рис. 3). Таким образом, сила тяжести вызывает электрическую поляризацию облака. Поляризация связана с появлением электрического поля, силовые линии которого начинаются на положительных зарядах, выступающих в верхней части облака, и оканчиваются на отрицательных зарядах, выступающих в его нижней части. Заметим, что внутри облака эти линии направлены сверху вниз; во внешнем пространстве они имеют то же самое направление в областях, прилегающих к экваториальной плоскости, и противоположное направление — снизу вверх — в полярных областях, т. е. под облаком и над облаком.

10. *Электрическое поле облака при компенсации поляризующего действия силы тяжести деполяризующим действием электрических токов.* Если бы ионы вовсе не обладали подвижностью, т. е. оставались закрепленными по отношению к воздуху, то процесс опускания капель продолжался бы до тех пор, пока вес капель не уравнился действующей на них электрической силой. Необходимое для этого поле E определяется формулой $qE=mg$, где q — заряд капли, m — ее масса и g — ускорение силы тяжести. Полагая $q=rU$, где U — потенциал капли и $m=\frac{4\pi r^3}{3}$ (плотность воды равна единице), получаем для этого поля выражение $E=\frac{4\pi}{3} \frac{gr^2}{U}$, которое при $U=10^{-3}$ эл. ст. ед. (что соответствует примерно 0,3 В) и $r=10^{-3}$ см дает $E=4$ эл. ст. ед., т. е. 1200 В/см.

В действительности, однако, ионы вовсе не закреплены в воздухе, но могут перемещаться по отношению к нему под влиянием электрических сил. Электрическое поле, обусловленное поляризацией облака, вызывает движение ионов — не только на верхней кромке облака, где накапливается избыток положительных ионов, но и внутри него, а также во всем пространстве, его окружающем. Положительные ионы движутся в направлении электрических силовых линий, а отрицательные в противоположном направлении со

⁴ Можно даже сказать, что положительный заряд крупных капель, поскольку он обусловлен избыточной концентрацией положительных ионов в атмосфере, предполагает преимущественный захват отрицательных ионов мелкими каплями, образующими основную массу облаков.

⁵ Этими молекулами являются, по видимому, молекулы водяного пара, «гидратирующие» ионы таким же образом, как в случае водных растворов электролитов.

скоростью, пропорциональной густоте этих линий, т. е. напряженности поля, образуя электрический ток, который стремится уничтожить выделившиеся на нижней и верхней кромках облака заряды, т. е. деполяризовать облако.

Деполяризующий ток, постепенно возрастая одновременно с поляризацией облака, приводит к тому, что поляризация достигает некоторой конечной величины, которая остается в дальнейшем неизменной, поскольку образующие облако капли продолжают опускаться по отношению к воздуху (т. е. до тех пор, пока облако существует, поддерживаемое восходящими движениями воздуха). Величина стационарной поляризации облака, характеризуемая компенсацией сил тяжести, действующих на капли, и электрического поля, действующего как на капли (вверх), так и на ионы, определяется равенством нулю суммарной плотности тока внутри облака. Этот ток складывается из конвекционного тока, переносимого каплями, и тока проводимости, обусловленного электропроводностью ионизированного воздуха. Первая часть плотности тока численно равна Nqv , где v — скорость падения капель по отношению к воздуху, q — их заряд, N — число их в единице объема; вторая часть равна согласно закону Ома λE , где $\lambda = \lambda_+ + \lambda_-$ — удельная электропроводность воздуха, а E — напряженность электрического поля внутри облака. Таким образом, эта напряженность, характеризующая степень поляризации облака⁶, выражается формулой:

$$E = \frac{Nqv}{\lambda}.$$

Содержание воды в облаках в капельно-жидкой форме составляет обычно 10^{-6} г/см³. При радиусе капель порядка 10^{-3} см это соответствует $N = 200$. Полагая $q = rU = 10^{-6}$ эл. ст. ед. (что соответствует $U = 10^{-3}$ эл. ст. ед., т. е. 0,3 В) и $\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$ (электропроводность воздуха вблизи земной поверхности) и отождествляя v со скоростью падения капель рассматриваемых размеров под влиянием одной лишь силы тяжести ($v = 0,3$ см/сек), получаем для E значение порядка 1 эл. ст. ед., т. е. 100 В/см. Это теоретическое значение E примерно в 10 раз меньше того, которое нужно было бы для уравновешивания капель электрическими силами⁷; оно находится в хорошем согласии с экспериментальными

⁶ Полагая $q = rU$ и $v = \frac{mg}{6\pi\eta r}$, где η — вязкость воздуха согласно закону Стокса, можно переписать предыдущую формулу для напряженности поля внутри облака в виде $Nmg/6\pi\eta r$. Произведение Nmg представляет собой «водность» облака, т. е. вес капельно-жидкой воды в единице объема. Отсюда видно, что вычисленное нами значение E фактически не зависит при данной водности облака от размеров образующих его капель.

⁷ Действием этих сил на капли можно поэтому пренебречь. Для учета следует уменьшить вес капель на электрическую силу, испытываемую ими, qE , что соответствует уменьшению скорости их падения v в отношении $1 - qE/mg$ к единице.

При $q = 10^{-6}$, $m = 4 \cdot 10^{-9}$, $E = 0,3$ и $q = 10^3$ отношение qE/mg равно примерно 1/12, так что рассматриваемая поправка не играет существенной роли.

значениями напряженности электрического поля в облаках, полученными в последние годы Симпсоном с помощью специального прибора («альтиэлектрографа»), поднимаемого шарами-зондами. Следует при этом отметить то обстоятельство, что средняя напряженность поля в грозовых облаках оказывается такой же, как и в обыкновенных, кучевых облаках. Это обстоятельство также вполне согласуется с нашей теорией, так как тот или иной характер облаков зависит от их протяженности в вертикальном и горизонтальном направлении; концентрация же и размеры образующих их капель варьируют в относительно небольших пределах.

11. *Искажение электрического поля, создаваемого облаком, под влиянием земли.* Внутри поляризованного облака электрическое поле имеет постоянную величину и направление, вне облака направление его меняется, как показано на рис. 3, а величина его убывает обратно пропорционально кубу расстояния от центра (если облако имеет шарообразную форму). При этом напряженность поля на экваторе облака снаружи такая же, как и внутри, а на полюсах — в два раза больше снаружи, чем внутри (причем направления поля снаружи и внутри в этом случае противоположны друг другу).

Картина электрического поля, изображенного на рис. 3, относится к случаю шарообразного облака, находящегося в безграничной однородной среде. В действительности атмосферный воздух ограничен снизу поверхностью земли, которая по сравнению с воздухом является практически идеальным проводником электричества (электропроводность влажной земли примерно в 10^{14} раз больше электропроводности воздуха).

Если считать поверхность земли плоской, то влияние ее на электрическое поле, создаваемое точечным зарядом, расположенным в некоторой точке P , может быть описано путем присоединения к этому полю электрического поля заряда равной величины и противоположного знака, расположенного под поверхностью земли, в точке Q , симметричной относительно P . Иначе говоря, расположенной на продолжении перпендикуляра, опущенного из точки P на поверхность земли, и притом на глубине OQ , равной высоте OP точки P . Результирующее электрическое поле положительного заряда $+e$, находящегося в P , искаженное рассматриваемым образом, изображается при этом системой силовых линий, расходящихся из этого заряда и направляющихся к земной поверхности, где они имеют перпендикулярное к ней направление (рис. 4). Таким образом, отрицательный заряд $-e$, искажающий поле заряда $+e$, находится фактически на поверхности земли, уничтожая поле заряда во внутренних точках последней.

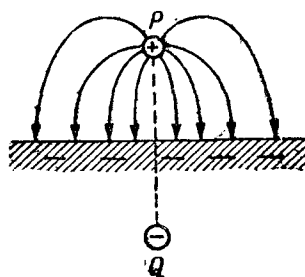


Рис. 4. Поле заряда и его отражение в поверхности земли.

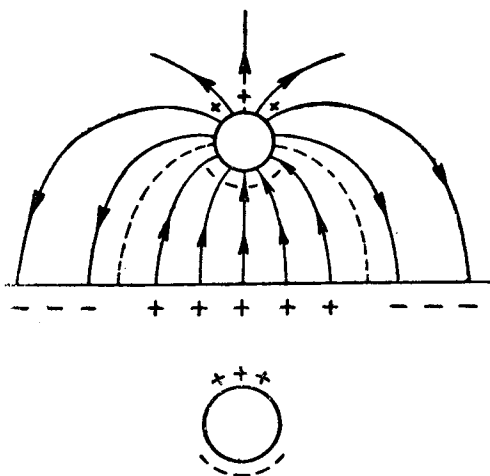


Рис. 5. Поле облака и его отражение в поверхности земли

Изложенный метод учета влияния плоской поверхности проводящего тела и, в частности, земли может быть обобщен на случай произвольной системы зарядов, расположенных над ее поверхностью. Так, например, поле поляризованного облака шарообразной формы, изображенное на рис. 3, искажается землей таким же образом, как оно искажилось бы электрическим отражением этого облака от поверхности земли, т. е. таким же самым шарообразным облаком, расположенным под землей и притом поляризованным в том же самом направлении — сверху вниз⁸ (рис. 5). Получающееся при этом результирующее поле изображается силовыми линиями, которые под облаком направлены от земли к нижней его поверхности, а в остальном пространстве — от верхней кромки облака к земле. Границей между обеими областями является круг с радиусом, примерно в полтора раза превосходящим радиус облака. Внутри этого круга поверхность земли заряжена положительно, а снаружи — отрицательно, т. е. именно так, как это имеет место в действительности. При этом суммарные заряды обеих областей численно равны друг другу (поскольку заряды верхней и нижней кромки облака одинаковы), так что результирующий заряд земной поверхности оказывается равным нулю. Отсюда следует, что средняя напряженность электрического поля у земной поверхности на безоблачной территории во столько раз меньше его средней напряженности под облаками, во сколько раз поверхность земли, закрытая облаками, меньше поверхности, свободной от облаков. Статистика распределения облачности для всего земного шара показывает, что это отношение близко к одному проценту. Таким образом, средняя напряженность электрического поля в районах ясной погоды должна быть примерно в 100 раз меньше, чем под облаками — или, следовательно, внутри облаков (при сравнимости размеров облака с вы-

сотой его центра над земной поверхностью). Согласно предыдущему, среднее поле внутри облаков имеет величину порядка 100 В/см, поэтому в безоблачных областях напряженность его должна в среднем составлять 1 В/см, что и наблюдается в действительности.

12. *Замыкание атмосферных электрических токов через землю при учете конечной электропроводности воздуха и почвы.* Если бы атмосферное электрическое поле, создаваемое поляризацией облаков, не искажалось никакими другими факторами, то напряженность поля около земной поверхности по мере удаления от «гипоцентра» какого-либо облака (т. е. точки, расположенной под его центром) в пустынную область, лишенную облаков, убывало бы обратно пропорционально кубу расстояния от этого центра. В действительности подобное убывание не наблюдается, и на далеком расстоянии от облаков электрическое поле вблизи земной поверхности сохраняет приблизительно постоянное значение так, как если бы эта поверхность была покрыта отрицательным зарядом, распределенным с практически постоянной плотностью. Если бы удельная проводимость воздуха была повсюду одинаковой, то отклонение структуры электрического поля от идеальной картины, изображенной выше и соответствующей отсутствию проводимости у воздуха (и бесконечно большой проводимости почвы), сводилось бы к следующему: электрические силовые линии у самой поверхности земли наклоняются к вертикали на ничтожно малый угол, определяемый отношением проводимости воздуха и проводимости почвы, причем в том же самом отношении уменьшается при переходе из воздуха в землю вертикальная слагающая электрического поля, тогда как горизонтальная слагающая его в почве и воздухе оказывается одинаковой. Слабое электрическое поле внутри земли, умноженное на ее громадную по сравнению с воздухом электропроводность, вызывает электрические токи такой же плотности, как и те, которые текут в атмосфере. Условием непрерывности вертикальной слагающей этих токов, направленной вверх под облаком и вниз — на безоблачной территории, и определяется, строго говоря, плотность заряда на земной поверхности. При этом токи, текущие под землей, должны замыкать токи, текущие в атмосфере, как показано схематически на рис. 6, где пунктиром обозначено продолжение атмосферных линий электрического тока под поверхностью земли.

13. *Искажение атмосферного электрического поля вследствие возрастания электропроводности воздуха с высотой и положительная электризация воздуха в безоблачных районах.* Если бы искажение электрического поля облаков ограничивалось влиянием различной проводимости воздуха и почвы, то строение этого поля практически не отличалось бы от идеализированного случая, рассмотренного ранее (проводимость воздуха равна нулю, почвы — бесконечности). В действительности, однако, как уже отмечалось выше, электропроводность воздуха не одинакова в разных точках. Во-первых, как мы

⁸ Нижней отрицательно заряженной кромке оригинала соответствует верхняя положительно заряженная кромка изображения, а верхней положительной кромке, оригинала — нижняя отрицательная кромка изображения.

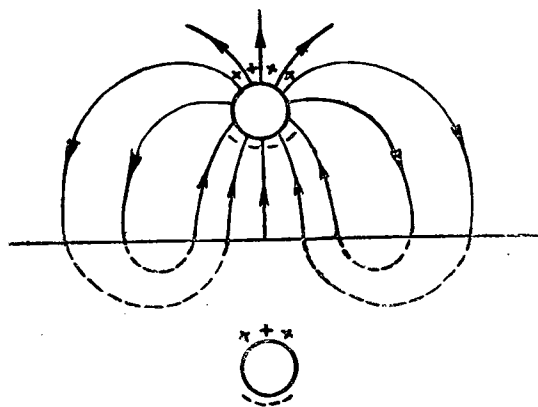


Рис. 6. Электрические токи, генерируемые облаками в атмосфере и земле.

уже знаем, эта электропроводность возрастает с высотой, достигая на высоте 10—12 км значений в 20—30 раз больше, чем вблизи земной поверхности (вследствие увеличения интенсивности космических лучей, вызывающих ионизацию атмосферного воздуха). Для того, чтобы при таких условиях электрическое состояние атмосферы не менялось с течением времени, т. е. чтобы плотность электрического тока, равная произведению удельной электропроводности воздуха на напряженность поля в соответствующем месте, оставалась одинаковой, нужно, чтобы напряженность поля уменьшалась с высотой обратно пропорционально возрастанию удельной электропроводности. Это соотношение обнаруживается особенно простым и отчетливым образом в районах безоблачной погоды, в которых линии электрического поля направлены вертикально вниз (структура электрического поля вблизи облаков до сих пор еще не изучена экспериментально). На высоте 10—12 км электрическое поле в подобных районах, не меняя существенным образом своего направления, ослабевает примерно в 20—30 раз по сравнению со своей величиной у земной поверхности.

Ослаблению электрического поля с высотой соответствует объемный положительный заряд воздуха при том условии, что это поле направлено вниз. В тех областях, где оно направлено вверх (например над облаками) ослабление его связано с отрицательной электризацией воздуха. Для объяснения того обстоятельства, что над безоблачной территорией атмосферное электрическое поле направлено почти повсеместно сверху вниз (а не более или менее наклонно и даже частично вверх, как это вытекает из упрощенной схемы, исходящей из представления о постоянной электропроводности воздуха), необходимо допустить, что отрицательный заряд, компенсирующий положительную электризацию воздуха, сосредоточен в основном не над облаками, а на безоблачной части земной поверхности. Таким образом, отрицательный заряд поверхности должен слагаться из заряда, компенсирующего положительный заряд верхней кромки окружающих облаков, и дополнительного от-

рицательного заряда, соответствующего объемному положительному заряду воздуха.

Нетрудно показать, что этот дополнительный отрицательный заряд поверхности предопределен изменением эффективной электропроводности воздуха в горизонтальных направлениях, а именно, большей ее величиной над облаками, чем над безоблачной территорией и под облаками — подобно тому, как объемный положительный заряд воздуха обусловлен изменением его электропроводности в вертикальном направлении.

14. *Искажение электрического поля вследствие повышенной электропроводности воздуха под облаками и результирующий отрицательный заряд земной поверхности.* Как мы видели выше, электрическое поле на участках земной поверхности, расположенных под облаками, в среднем в 100 раз больше, чем при отсутствии облаков. При этом под облаками, в особенности грозовыми, а также внутри них должны существовать относительно небольшие области, в которых электрическое поле достигает значений порядка десятков тысяч вольт на сантиметр, необходимых для возникновения искровых разрядов — молний. Аналогичные разряды, но не искровые, а «тлеющие», возникают в присутствии сильных электрических полей на остроконечных предметах, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей: на стеблях травы и других растений, на ветках, листьях и иглах деревьев, шпильках, мачтах и других остроконечных или лезвиеобразных деталях различных сооружений. Среднее электрическое поле, в котором находятся остроконечные проводящие предметы, усиливается вблизи острий в десятки и сотни раз, достигая пробивных значений, при которых начинается «коронирование», т. е. локализованный тлеющий разряд, сопровождающийся свечением окружающего воздуха, — свечением, наблюдающимся иногда во время грозы в виде так называемых «огней святого Эльма».

В обоих случаях — как «искрового», так и тлеющего разряда — мы имеем дело, по существу, с одним и тем же эффектом, а именно с локальным усилением электрического поля, сопровождающимся увеличением электрического тока. При этом возрастание тока обусловлено не только усилением вызывающего его поля, но также и локальным увеличением электропроводности воздуха, зависящим от роста степени его ионизации. Это обстоятельство объясняется тем, что электроны, возникающие в процессе первичной ионизации воздуха, приобретают при своем разгоне в действующем на них электрическом поле кинетические энергии, достаточные для вторичной его ионизации, путем вырывания электронов из нейтральных молекул, с которыми они сталкиваются.

Мы видим, таким образом, что при достаточном усилении среднего поля под облаками средняя плотность тока, вызываемого им (в связи с его локальным усилением и локальным возрастанием электропроводности воздуха),

должна быть больше той, которая соответствует нормальной электропроводности воздуха. Другими словами, дело происходит таким образом, как если бы удельная электропроводность воздуха при достаточно большей величине среднего поля возрастала с его увеличением. Эту кажущуюся электропроводность воздуха, измеряемую отношением средней плотности поля, мы будем называть «эффективной».

Если бы электропроводность воздуха была одинаковой (как это предполагалось нами ранее), то положительный заряд земли на участке, расположенном под облаком, в точности компенсировался бы отрицательным зарядом остальной ее поверхности, совершенно так же, как и в частном случае отсутствия электрического тока (параграф 11). В самом деле, плотность электрического заряда в какой-либо точке земной поверхности, умноженная на универсальный численный коэффициент (4), равна напряженности электрического поля в этой точке (точнее, скачку вертикальной составляющей этого поля при переходе из воздуха в землю). С другой стороны, плотность тока также пропорциональна напряженности поля, причем коэффициентом пропорциональности является удельная электропроводность. В условиях стационарного электрического состояния земли и атмосферы общая сила тока, текущего от той части земной поверхности, которая находится под облаком, к нижней кромке последнего, должна равняться общей силе тока, текущего от верхней кромки облака и остальной части земной поверхности. Это соотношение остается в силе и в случае сколь угодно большого числа облаков.

Что должно произойти в том случае, если электропроводность воздуха под облаками внезапно увеличится на относительно небольшую величину? Ясно, что в этом случае при исходном соотношении напряженностей поля на облачной и безоблачной территории сила электрического тока, текущего вверх, в первой из этих областей окажется больше, чем сила тока, текущего вниз во второй области. Баланс токов, характеризующий условием их замыкания, таким образом, нарушается. В результате электрическое поле над облачной территорией должно ослабеть или, как говорится в технике, «сесть». Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока баланс электрического тока не восстановится вновь. При этом, однако, должен ликвидироваться баланс электрических зарядов. А именно, положительный заряд земной поверхности под облаком должен несколько уменьшиться, а отрицательный заряд безоблачной территории несколько увеличиться, так что поверхность земного шара в целом должна приобрести результирующий электрический заряд отрицательного знака.

Этот избыточный отрицательный заряд земной поверхности вместе с компенсирующим его дополнительным положительным зарядом тропосферы и обеспечивает постоянство (однородность) атмосферного электрического поля вдали от облаков.

15. *Общая схема стационарной электрической циркуляции.* Резюмируя представления и соображения, изложенные выше, мы можем формулировать полученные результаты следующим образом.

Генераторами атмосферного электрического поля являются облака с их отрицательно заряженными капельками или льдинками, опускающимися под влиянием силы тяжести по отношению к окружающему их положительно заряженному воздуху. Эти электрогравитационные генераторы создают в нижних слоях атмосферы систему электрических токов, замыкающихся через верхние слои земли и определяющие в условиях стационарного режима фактическое распределение электрических зарядов на земной поверхности и атмосфере в качественном, а до некоторой степени и количественном согласии с опытными данными. Это согласие относится прежде всего к направлению электрического поля в отсутствии облаков и под облаками, а также к абсолютному значению средней напряженности электрического поля в соответствующих областях.

Излагаемую теорию явлений атмосферного электричества можно было назвать «циркуляционной» или динамической, так как она исходит из рассмотрения стационарных электрических токов, генерируемых облаками. Это обстоятельство отличает ее от различных теорий, предлагавшихся до сих пор и имевших характер чисто статический, т. е. трактовавших атмосферное электрическое поле как следствие отрицательного заряда земной поверхности и положительного заряда атмосферы. Согласно нашей теории это поле следует рассматривать скорее не как следствие, но как *причину* этих зарядов; непосредственной же причиной атмосферного электрического поля являются положительные и отрицательные заряды непрерывно выделяющиеся под действием силы тяжести на верхней и нижней кромках облаков и непрерывно высасывающиеся благодаря вызываемым ими электрическим токам. С этой точки зрения отпадает основная трудность, на которую наталкивались все прежние (статические) теории атмосферного электричества, а именно, — проблема поддержания отрицательного заряда земной поверхности и положительного заряда воздуха в безоблачных районах.

16. *Роль молний и тлеющих разрядов в электрической циркуляции атмосферы.* Ряд ученых, в особенности Вильссон, пытался объяснить сохранение отрицательного заряда на безоблачной части земной поверхности, несмотря на разряжающий ее ток, с помощью представления о «противотоке», образованном молниями, т. е. искровыми разрядами, а также тлеющими разрядами на участках земной поверхности, покрытых грозовыми облаками.

В настоящее время мы знаем, что электрическое поле под грозовыми облаками на самом деле имеет «отрицательное» направление (снизу вверх), требуемое гипотезой Вильсона. Однако,

вопрос о причине этого обстоятельства оставался до сих пор открытым.

С нашей точки зрения оно является самоочевидным. При этом понятие «противотока» или зарядного тока утрачивает смысл. Этот противоток является составной частью общего разрядного или деполяризующего тока, создаваемого облаками и замыкающегося через землю. Искровые и тлеющие разряды, т. е. молнии и разряды с остроконечных наземных предметов, наблюдаемые в случае грозных облаков, образуют лишь некоторую, быть может весьма значительную, часть разрядного тока в тех областях, где он неправильно трактуется как зарядный. Зарядным — или, вернее, поляризационным — током является на самом деле конвекционный ток, образуемый в результате опускания (относительно воздуха) отрицательно заряженных облачных капель⁹.

Статистика грозовой деятельности показывает, что число гроз, одновременно бушующих в различных пунктах земного шара, близко к 2 000. При этом в одну секунду между грозными облаками и землей проскакивает в среднем около 100 молний, каждая из которых переносит заряд в 20—30° С. Сила «противотока», образуемого этими всеми молниями, равна 1 500 А. Что же касается «разрядного тока», текущего к земле в безоблачных областях, то общая величина его составляет примерно 1 700 А. Таким образом оказывается, что баланс электрического тока может быть практически полностью обеспечен одними лишь молниями. Необходимо, впрочем, отметить, что предыдущий расчет имеет грубо приближенный характер. Согласно другим расчетам основной компонентой тока в области грозных облаков являются не искровые, а тлеющие разряды с острий. Этот вопрос нуждается в дальнейшем экспериментальном исследовании.

IV. Грозные явления. 17. Тлеющие разряды и короткие электрические искры. Проблема грозных явлений сводится к вопросу о том, почему и при каких условиях атмосферный электрический ток приобретает характер искровых разрядов, т. е. молний, или тлеющих разрядов, которые в отличие от обычного тока проводимости сопровождаются свечением и шумом.

Тлеющие (или «коронирующие») разряды обусловлены локальным усилением электрического поля заземленными проводящими предметами с большой кривизной поверхности, образуемой, например, острием, или же цилиндрической поверхностью малого радиуса (тонкая проволока). Электрическое поле вблизи сильно искривленных (выпуклых) участков поверхности оказывается усиленным в тем большей степени, чем больше кривизна этой поверхности. Коэффициент усиления может при этом достигать столь высоких значений, что при средней напряженности электрического поля в сотню вольт на сантиметр над плоской поверхностью земли, максимальная на-

пряженность его вблизи острия достигает нескольких десятков тысяч вольт на сантиметр. При нормальном давлении поле в 30 000 В/см оказывается достаточным для электрического пробоя воздуха, т. е. развития электрического разряда путем вторичной ионизации молекул электронами, освобожденными при первичной ионизации (космическими лучами) и разогнанными до больших скоростей усиленным электрическим полем.

Тлеющий разряд имеет локализованный характер; обусловленное им свечение ограничивается обычно тонким слоем воздуха, окружающим острие. Необходимо отметить, что часть электронов или ионов, образовавшихся в результате вторичной ионизации в области светящейся «короны», выносятся электрическим полем довольно далеко за ее пределы, обуславливая повышенную электропроводность воздуха в окружающем пространстве.

При дальнейшем увеличении напряженности среднего электрического поля, а вместе с ним и того усиленного поля, которое должно было бы существовать вблизи острия при отсутствии пробоя, характер разряда начинает изменяться. Напряженность поля не может превысить пробивного значения в 30 000 В/см вследствие большой электропроводности воздуха, достигаемой при пробое. Пробитый слой воздуха, образующий «корону» тлеющего разряда, ведет себя практически таким же образом, как и тот проводник, на котором эта корона возникает; другими словами, светящаяся корона представляет собой как бы дальнейшее продолжение этого проводника в направлении его длины. Эффективным концом, или острием, последнего является, следовательно, не его фактическое острие, а та граница продолжающей его короны, где напряженность электрического поля становится меньше пробивного значения.

Таким образом, при повышении средней напряженности электрического поля над поверхностью земли (или любого другого проводящего тела с остроконечным выступом) корона тлеющего разряда постепенно вытягивается. При этом электрическое поле внутри образуемого короной проводника ослабевает, а вблизи ее конца, с наружной стороны, усиливается так, как если бы этот конец являлся материальным острием. Если электрическое поле создается разностью потенциалов между двумя плоскими электродами с небольшими остроконечными выступами, то «корональное продолжение» одного из этих выступов может достигнуть второго электрода. Таким образом, оба электрода оказываются соединенными друг с другом накоротко тонким светящимся каналом «пробитого», т. е. сильно ионизованного и хорошо проводящего воздуха. Этот канал представляет собой не что иное, как электрическую искру. Мы видим, следовательно, что электрическую искру, проскакивающую между двумя проводниками, можно рассматривать, как результат вытягивания короны тлеющего разряда на остроконечном выступе одного из электродов до другого электрода.

⁹ Напомним еще раз, что воздух может при этом подниматься вверх относительно поверхности земли, обеспечивая относительную неподвижность облака или даже поднятие его.

18. *Длинные электрические искры и молнии.* Вышеописанная картина в принципе не зависит от расстояния между электродами, т. е. от длины проскакивающей между ними искры. До тех пор, пока эта длина невелика, условием искрового разряда является определенное «пробивное» значение среднего электрического поля, именно $30\,000\text{ В/см}$ в случае воздуха при обычном давлении. Таким образом, для пробоя искрового промежутка в 1 м требуется разность потенциалов в 3 млн. В . Этот закон нельзя, однако, экстраполировать на сколь угодно большие расстояния между электродами. Так, например, для возникновения молнии между поверхностью земли и нижней кромкой грозового облака, т. е. для пробоя искрового промежутка длиной примерно в 2 км потребовалась бы с этой точки зрения разность потенциалов в 7 млрд. В , тогда как на самом деле, согласно измерениям Симпсона электрическое поле в грозовых облаках и под ними не превышает в среднем нескольких сот вольт на сантиметр, что соответствует разности потенциалов порядка 70 млн. В между облаком и землей.

Возникновение электрической искры весьма большой длины при сравнительно слабом электрическом поле объясняется, так же как и возникновение тлеющих разрядов, локальным усилением поля до пробивного значения. Это локальное усиление не обязательно связано с острями. В присутствии остроконечных предметов с большой электропроводностью, например металлических стержней, служащих громоотводами, грозовые разряды имеют тенденцию заменяться тлеющими разрядами, препятствующими развитию аномально сильных полей, которые необходимы для возникновения молнии. Повидимому, этому в большей степени способствуют плохо проводящие тела, чем металлические проводники.

Не углубляясь в рассмотрение этого пока еще не вполне выясненного вопроса, мы можем констатировать тот факт, установленный многочисленными наблюдениями, что молнии возникают как на земной поверхности, так и в облаках. В первом случае светящийся канал «пробитого» воздуха, образующий молнию, быстро растет вверх от точки своего возникновения на земной поверхности к облаку; во втором, наоборот, этот канал вытягивается в направлении от облака к земле¹⁰. В обоих случаях, однако, электрический ток течет вдоль этого канала — как во время его роста, так и после завершения этого роста — в одном и том же направлении — от положительной заряженной поверхности земли к отрицательно заряженной поверхности облака, играющего роль отрицательного электрода. Этот ток состоит из нескольких последовательных одинаково направленных импульсов с длительностью в миллионные доли секунды каждый и общей продолжительностью порядка одной сотой секунды. Каж-

дый подобный импульс ослабляет поле, которое его вызвало. В результате их многократного повторения поле в рассматриваемой области исчезает или даже меняет знак, после чего канал разрядного тока распадается и молния гаснет.

Наряду с молниями, пробивающими искровой промежуток между грозовым облаком и поверхностью земли, наблюдаются, притом значительно чаще, молнии, проскакивающие между двумя различными облаками или частями одного и того же облака, например, верхней и нижней. На относящихся сюда вопросах мы не можем останавливаться подробнее. Заметим лишь, что уподобление облаков или отдельных их частей металлическим электродам имеет весьма формальный характер и вовсе не вытекает из существа дела. Сущность роли, играемой облаками, в возникновении грозовых разрядов заключается, так же как и в случае земной поверхности, в аномальном усилении электрического поля в относительно небольших пространствах, до пробивных значений. Для этого усиления вовсе не требуются остроконечные проводящие предметы. В случае облаков оно обуславливается совсем иным механизмом, к рассмотрению которого мы сейчас и перейдем.

19. *Связь грозовых разрядов с процессом укрупнения облачных частиц.* Мелкие капли воды или кристаллики льда, образующие верхний ярус облаков, понемногу укрупняются. Сначала путем слияния мелких частиц одинакового размера, падающих с одной и той же скоростью (при этих условиях между соседними частицами возникают особые гидродинамические силы притяжения), а затем, после появления наряду с мелкими капельками более крупных, путем поедания первых последними, в результате того, что крупные капли падают (относительно воздуха) быстрее, чем мелкие. Обгоняя мелкие частицы, укрупнившиеся частицы продолжают укрупняться за счет мелких, причем скорость этого процесса возрастает в геометрической прогрессии по мере их опускания, т. е. перехода из верхнего яруса облака в средние и нижние. В результате этого процесса в нижних ярусах облаков, в особенности с большой вертикальной мощностью, характерной для грозовых облаков, появляются крупные капли, или кристаллы, способные долететь до поверхности земли в виде дождя, снега или града.

Если бы электрические заряды капель сохранились при их слиянии друг с другом в процессе укрупнения одних за счет других, то заряд укрупняющихся капель должен был бы возрастать прямо пропорционально их объему, т. е. кубу радиуса. С другой стороны, в состоянии равновесия, характеризуемом определенным значением электрического потенциала капель, не зависящим от их размера, заряд капель должен быть пропорциональным первой степени их радиуса. Процесс укрупнения капель (путем поедания мелких более крупными) нарушает, следовательно, равновесное или, вернее, стационарное состояние облака. Это нарушение частично ликвидируется рассеянием избыточного

¹⁰ Обычно он разветвляется в направлении своего удлинения подобно растущему дереву.

отрицательного заряда укрупнившихся капель в окружающем воздухе. Однако, ликвидация этого избыточного заряда все более и более отстает от его роста по мере того как капля продолжает укрупняться, падая при этом все быстрее и быстрее. В результате в средних или нижних ярусах облака должно наблюдаться аномальное сгущение отрицательного заряда, несомного укрупняющимися каплями. А так как с поляризацией растет и связанное с ней электрическое поле, то в результате могут возникнуть искровые разряды в облаке или между облаком и землей.

20. *Природа грозových облаков.* Вышеизложенная схема, разработанная недавно автором совместно с Н. С. Шишкиным, нуждается в ряде поправок и дополнений.

Во-первых, необходимо вспомнить, что крупные капли воды имеют тенденцию перезаряжаться, т. е. приобретать положительный заряд вместо отрицательного, благодаря поляризации их атмосферным электрическим полем в связи с большей эффективностью положительных ионов в электропроводности воздуха (параграф 7). Таким образом, по мере укрупнения водяных капель процесс нарастания их отрицательного электрического потенциала, развивающийся сначала в ускоренном темпе, должен постепенно замедляться и даже, по всей вероятности, перейти в процесс нарастания положительного потенциала. Поскольку этот процесс протекает неодинаковым образом в различных участках облака, расположенных на одном и том же уровне (в зависимости от толщины облака, его строения, водности и других факторов), аномальное усиление электрического поля может ограничиваться отдельными относительно небольшими участками облака — или земной поверхности, — где и зарождаются тлеющие разряды, переходящие затем указанным выше образом в искровые.

Далее, согласно изложенной точке зрения на происхождение грозových явлений и их связь с образованием дождя всякая дождевая туча должна, казалось бы, являться вместе с тем и грозовой, чего в действительности не наблюдается. Можно сказать, что, как правило, всякая гроза бывает связана с дождем. Однако, выпадение осадков сопровождается грозowymi явлениями лишь в сравнительно редких случаях и то практически только в жаркое время года.

Последнее обстоятельство связано, повидимому, с тем, что возникновение грозových явлений, т. е. аномально сильных электрических полей, возможно согласно предложенной нами схеме лишь в случае облаков с большой вертикальной мощностью. Укрупняющиеся при своем падении через облако капли могут приобрести большой отрицательный заряд лишь при достаточно большой длине своего пути в облаке, порядка нескольких километров. И действительно, грозовые об-

лака отличаются от обычных дождевых туч своей исключительно большой толщиной, достигающей 6 км и даже более.

Механизм образования крупных дождевых капель в случае слоистых облаков должен быть несколько отличным от рассмотренного выше, так как подобные облака (в частности, в случае обложных дождей) обладают сравнительно небольшой вертикальной мощностью. Существенную роль в этом механизме играют такие факторы как влажность нижних слоев воздуха и его температура, от которой зависит возможность возникновения потоков воздуха. Формирование грозových облаков связано, повидимому, с высокой температурой воздуха вблизи раскаленной земной поверхности при большом содержании в нем водяного пара. При таких условиях возникают мощные восходящие потоки воздуха, сопровождающиеся конденсацией содержащейся в нем влаги на больших высотах. Вопрос о механизме образования осадков является одним из важнейших вопросов метеорологии, однако он остается до сих пор не вполне выясненным.

Для нас существенно лишь то, что процесс укрупнения облачных капель может привести к локальному усилению атмосферного электрического поля, необходимому для возникновения грозových разрядов. Возникающие таким образом «каналы пробоя» могут затем прорасти из соответствующих областей в области с сравнительно слабым средним полем, в которых они не могли бы возникнуть, неся на своем свободном конце то пробивное значение напряженности поля, которое обеспечивает их дальнейшее удлинение. Эти каналы, обычно разветвляющиеся в направлении своего роста, и образуют молнии. Сопровождающий их гром обусловлен нагреванием пробитого воздуха до весьма высокой температуры и соответствующим его расширением — совершенно так же, как и тот относительно слабый треск, которым сопровождается проскакивание обычной электрической искры.

В этой статье не затрагивается ряд других интересных вопросов, связанных с грозowymi явлениями, например, вопрос о так называемой «шаровой молнии» (которая представляет собой вовсе не молнию, а повидимому, некоторое взрывчатое вещество, образовавшееся в воздухе под влиянием грозového разряда).

Необходимо отметить, что общие соображения о природе атмосферного электричества и грозových явлений, здесь изложенные, нуждаются в дальнейшей разработке, в особенности в количественном отношении. Представляется, однако, что эта разработка не потребует пересмотра основных принципов, на которых построена предлагаемая динамическая теория явлений атмосферного электричества.



Развитие релейной защиты и автоматики энергосистем

Кандидат техн. наук И. И. СОЛОВЬЕВ

Мосэнерго

Релейная защита и системная автоматика охватывают значительный круг вопросов. В пределах настоящей статьи мы ограничимся рассмотрением только следующих вопросов: 1) защита генераторов большой мощности; 2) защита трансформаторов большой мощности; 3) защита линий высокого напряжения; 4) автоматическое повторное включение линий; 5) автоматическое включение резервного питания.

Защита генераторов. Современные генераторы большой мощности, как известно, снабжаются следующими основными видами релейной защиты: а) продольной, поперечной и дифференциальной токовой; б) от замыкания на корпус; в) защитой от сверхтоков.

Дифференциальная токовая защита. Получившую широкое распространение продольную дифференциальную защиту с циркулирующими токами следует признать вполне освоенной и удовлетворительной при условии использования сравнительно медленно действующей релейной и отключающей аппаратуры, в пределах времени действия которой успевают затухать токи небаланса переходных процессов. В связи с общей тенденцией максимального ускорения отключения к. з., при которых время действия защиты доводится до 0,5—1 периода, возникает необходимость изучения протекания токов во вторичных цепях при переходных процессах. Опыт показывает, что даже при медленно действующей аппаратуре и токах трогания защиты 2—2,5 А защита может иногда неправильно отключать генераторы при сквозных коротких замыканиях под влиянием токов небаланса. Точное определение этих токов с помощью доступных для практики средств представляется весьма затруднительным. Поэтому на больших генераторах, отключение которых болезненно отзывалось на режиме системы, целесообразно защиту выполнять с торможением.

Релейная защита и системная автоматика на современном уровне своего развития представляют собой широкую область техники, имеющую важное значение для решения сложных задач, связанных с обеспечением устойчивости производства и распределения электроэнергии, особенно в условиях крупных энергосистем. Обобщаются достижения релейной техники и некоторые итоги эксплуатации релейной защиты в Советском Союзе, преимущественно в Мосэнерго, а также данные иностранной литературы. Как наиболее прогрессивные направления в развитии техники релейной защиты отмечаются тенденции к упрощению схем и к обеспечению быстродействия аппаратуры. В заключение отмечается отставание нашей электропромышленности в области производства современной аппаратуры релейной защиты и автоматики энергосистем и указывается на необходимость всемерного развертывания в новой пятилетке научно-исследовательских работ по релейной технике.

Так же как и в продольной дифференциальной защите, выбор токов трогания поперечных дифференциальных защит до сих пор производится, по существу, чисто интуитивно, без достаточной ясности и технического обоснования. За последние 7—8 лет эксплуатации примерно 20 генераторов в системе Мосэнерго поперечная дифференциальная защита пока еще не оправдала своего назначения: не было ни одного случая, когда при повреждениях внутри генератора работала бы только одна поперечная защита.

В то же время только за последние три года она успела четыре раза неправильно отключить генераторы мощностью по 50 тыс. kW, причем в трех случаях — при сквозных к. з. В одном из случаев отключился генератор, защита которого в нормальном режиме имела меньшие токи небаланса по сравнению с защитой другого генератора, оставшегося в работе при тех же условиях. Следовательно, необходимость исследования токов небаланса в условиях переходных процессов является очевидной.

Из иностранной литературы можно установить, что многие фирмы придают существенное значение этим вопросам.

С точки зрения правильного использования поперечных дифференциальных защит желательно иметь решения по следующим вопросам: 1) на всех ли генераторах (учитывая способ укладки обмоток) действительно возможны междувитковые к. з. обмотки одной фазы, несопровождаемые замыканиями на обмотку другой фазы или на корпус? 2) необходимо ли мгновенно автоматически отключать генератор при нарушениях соединений одной из параллельных ветвей фазы или в этих случаях допустимо защите действовать на сигнал и отключать генератор от руки?

Защита от замыкания на корпус. Ниже мы ограничимся рассмотрением только защиты генераторов, работающих на общие шины.

Как известно, в Советском Союзе получила распространение дифференциально-ваттметровая защита нулевой последовательности (с компенсацией токов небаланса). До 1936—1937 гг. имело место много случаев неправильного действия этой защиты вследствие неосвоенности ее особенностей. За последние годы случаи неправильной работы защиты по этим причинам стали единичными. Например, за 3 последних года эксплуатации большого количества генераторов в Мосэнерго имело место 16 случаев отключения генераторов от защиты, действующей при замыканиях на корпус. В двух случаях из 16 защита действовала неправильно (12,5%) по причине наличия дефектов в реле, не характеризующих принцип защиты. Таким образом, имеются все основания утверждать, что этот тип защиты у нас в достаточной мере освоен.

Дискуссионным остается, пожалуй, только вопрос чувствительности, а именно, какой процент незащищенных витков можно считать допустимым, с учетом эксплуатационных изменений числа включенных заземляющих сопротивлений. Вопрос чувствительности защиты генераторов связан с выбором тока замыкания на землю.

Опыт эксплуатации кабельных сетей показал, что при отсутствии в сети защиты от замыканий на землю, действующей на отключение, однофазные замыкания на землю при токах до 40—50 А могут оставаться до 1 часа, не прожигая изоляции между жилами разных фаз кабеля. Возникшее повреждение кабеля устраняется персоналом без обесточивания потребителей. Однако, при токах 40—50 А трудно выполнить требования чувствительности защиты от замыкания на корпус генераторов.

Чувствительность защиты можно повысить с помощью шунтирования части заземляющегося сопротивления, но эти схемы довольно сложны. С этой точки зрения заслуживает большого внимания предложенная фирмой AEG схема заземления нулевой точки генератора через железородные лампы. Характеристика железородных ламп по своему виду близка к резко насыщающейся характеристике. Она позволяет получить большую чувствительность защиты при очень малых токах замыкания на землю. По данным фирмы генератор 37,5 тыс. kVA, 10,5 kV имеет 90% защищенных витков при токе замыкания на землю порядка 3,5—4 А. Такая схема еще не освоена в Союзе, однако, она вполне заслуживает безотлагательного рассмотрения и оценки ее качеств.

Защита генераторов от сверхтоков. Выполняемая до сих пор защита, как известно, состоит из комплекта максимально-токовых реле и реле минимального напряжения. Вопрос удовлетворения требований чувствительности этой защиты остается пока что не разрешенным. При отсутствии форсировки возбуждения могут отказывать токовые реле, а при нали-

чий форсировки возбуждения — реле напряжения (в особенности при к. з. за трансформатором или реактором).

Перед войной завод ХЭМЗ разработал схему, реагирующую на изменение токов при к. з. Однако, эта схема осталась неиспытанной.

Нам представляется, что решение данного вопроса следует искать на базе использования фильтров. В настоящее время такая работа ведется в ТЭП и в ЦНИЭЛ Министерства электростанций.

Защита трансформаторов. Современные мощные трансформаторы, как правило, снабжаются тремя принципиально различными видами защиты, а именно: а) газовой; б) дифференциальной; в) максимальной токовой.

Газовая защита на практике полностью себя оправдала. Большинство повреждений трансформаторов в пределах бака отключается газовой защитой. Неправильные действия газовой защиты, составляющие около 15%, обусловлены дефектами ее исполнения и обслуживания. В числе основных причин неправильного действия газовой защиты следует отметить: 1) разъедание изоляции кабеля маслом; 2) негерметичность поплавков и неудачная конструкция колбочек ртутных контактов; 3) закупорка «дыхательных» отверстий внутреннего объема кожуха, сообщающих трансформаторы с атмосферой; 4) скопление воздуха при заливке масла и внезапный выхлоп его в консерватор через реле. Как видно, все перечисленные причины не затрагивают принципа защиты и вполне устранимы.

Дифференциальная защита. За последние 10—15 лет было предложено довольно много разновидностей дифференциальной защиты трансформаторов. Все они обладают теми или иными достоинствами и недостатками. Но все они до сих пор не могли разрешить одного вопроса: отстройки защиты от действия намагничивающих токов при включении трансформатора и при восстановлении напряжения после отключения внешнего к. з. В практике до сих пор повторяются случаи неправильных отключений трансформаторов по этим причинам. От действия токов намагничивания можно отстроиться путем загробления защиты и введения выдержки времени. Однако, при этих условиях теряется основное положительное свойство дифференциальной защиты — быстрота действия. Поэтому, естественно, инженерная мысль неустанно работает над поисками новых решений этого вопроса.

Из теории переходных процессов в трансформаторах известно, что величина и продолжительность действия аperiodической составляющей тока при его включении под напряжение зависят от момента включения и от соотношения активного сопротивления и индуктивности, определяющих постоянную времени. У трансформаторов с замкнутой вторичной обмоткой тока включения меньше по величине, чем при включении трансформатора под напряжение с разомкнутой вторичной обмоткой, но имеют большую продолжительность [Л. 1]. Основываясь на этом факте, казалось бы, можно было бы быть уверенным в

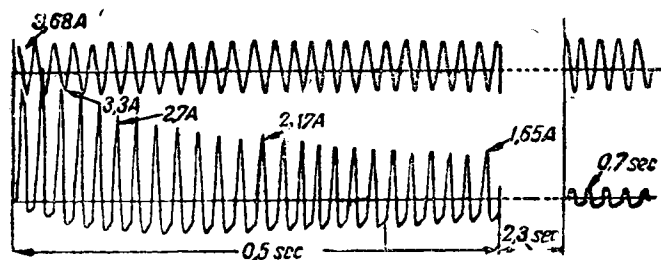


Рис. 1. Осциллограмма тока при включении трансформатора 60 000 kVA.

том, что дифференциальная защита, отстроенная от токов намагничивания при включении трансформатора на холостую работу, не должна действовать неправильно при восстановлении напряжения после отключения внешнего к. з. Однако, в практике имели место случаи, когда защита позволяла включать трансформатор на холостой ход и затем неправильно отключала его при восстановлении напряжения после отключения внешнего короткого замыкания. Последнее, возможно, объясняется тем обстоятельством, что при испытании защиты трансформатора на включение не всегда можно рассчитывать на то, что замыкание контактов выключателя произойдет в момент, соответствующий максимальному значению намагничивающего тока.

Осциллограмма (рис. 1), снятая при включении трансформатора 60 000 kVA, показывает, что рекомендуемые параметры настройки защиты, например типа КР-121, с током трогания 1,5–2 А и выдержкой времени порядка $t=0,25$ сек не гарантируют отстройки защиты от токов намагничивания; выдержка времени должна быть увеличена до 0,8–1 сек. Такой способ решения, естественно, не может быть признан удовлетворительным. Многие фирмы и специалисты продолжают искать новые решения этого вопроса.

В основу исканий положены следующие три отличительные особенности тока намагничивания от тока к. з. 1) расположение волны тока намагничивания по одну сторону нулевой линии; 2) содержание в волне токов большого процента высших гармонических; 3) содержание в броске тока намагничивания большой по величине и медленно затухающей постоянной составляющей. На рис. 2 показана схема защиты трансформатора, использующая первую из перечисленных выше особенностей [Л. 2].

Схема содержит два реле 1 и 2, работающие на выпрямленном токе. Цепь на реле отключения 4 проходит последовательно через контакты обоих реле и замыкается, когда оба реле срабатывают. Предполагается, что если в цепи защиты действует ток намагничивания, то согласно осциллограмме рис. 3 ток располагается в основном только по одну сторону нулевой линии, при этом срабатывает только одно из основных реле и цепь отключающего реле 4 остается разомкнутой.

При к. з. в зоне защиты волна тока согласно осциллограмме рис. 4 всегда располагается по

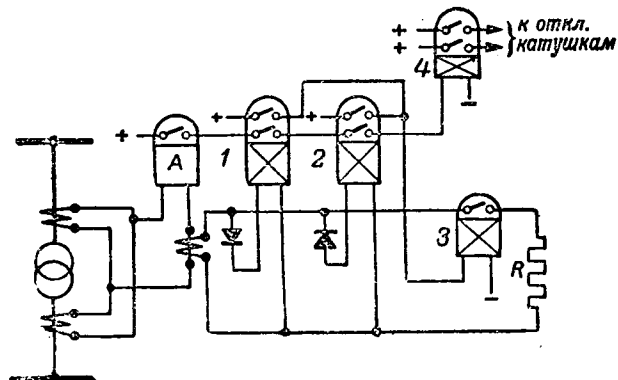


Рис. 2. Схема дифференциальной защиты трансформатора с реле, работающими на выпрямленном токе.

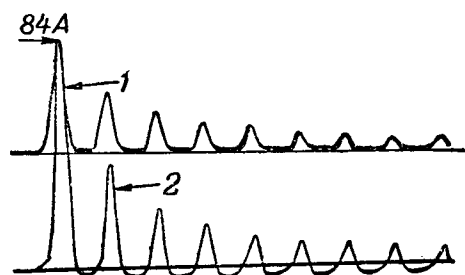


Рис. 3. Осциллограмма токов трансформатора при его включении.
1 — первичный; 2 — вторичный ток.

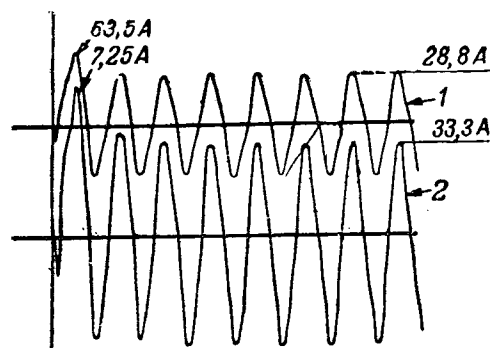


Рис. 4. Осциллограммы токов трансформатора при к. з.
1 — первичный, 2 — вторичный ток.

обе стороны нулевой линии. Срабатывают реле 1 и 2; цепь отключающего реле 4 замыкается, и трансформатор отключается.

Но в ток намагничивания имеется и переменная составляющая, располагающаяся по обе стороны нулевой линии. Она особенно будет проявляться при насыщении железа трансформаторов тока. Для отстройки возможного действия второго реле при этих условиях реле 1 и 2 загроуляются в результате срабатывания вспомогательного реле 3, шунтирующего обмотки реле активным сопротивлением R . Время действия вспомогательного реле считается достаточным иметь порядка 1,5 периода. При срабатывании вспомогательного реле основные реле загроуляются примерно в два раза — с 2,5 до 5 А.

Автор не без оснований обращает внимание на то обстоятельство, что ток возврата реле 1 и 2 при их загроулении должен быть ниже тока

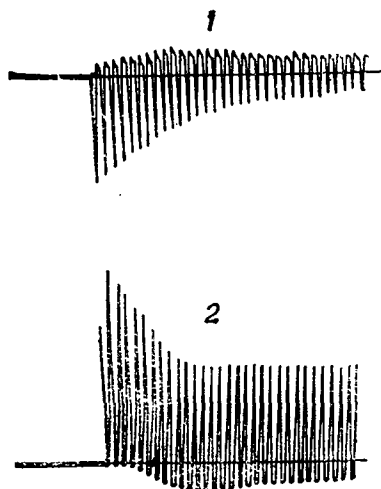


Рис. 5. Осциллограммы токов трансформатора при включении.

1—первичный, 2—вторичный ток.

трогания при их дешунтировании. Иначе при постепенном спаде тока намагничивания возможно неправильное действие защиты. Загрубление реле происходит примерно через два периода с момента возникновения к. з. В течение этого времени предполагается, что при внутреннем повреждении защита успеет сработать и отключить трансформатор. Задержка загрузки при включении трансформатора неопасна, так как волна намагничивающего тока переходит на вторую сторону нулевой линии согласно осциллограмме рис. 5, спустя 4—5 периодов после момента включения.

По своему принципу схема весьма интересна. Однако, у нас она не испытана. Обращает на себя внимание отсутствие в схеме торможения. При больших токах сквозных к. з. во многих случаях установка 5 А может оказаться недостаточной, и защита может сработать неселективно.

Для окончательного суждения о возможностях схемы требуется провести всестороннее ее исследование.

Схема, использующая вторую особенность намагничивающего тока, предложена фирмой ГЕС. Из схемы рис. 6 видно, что, помимо основного торможения, реле имеет еще торможение от токов высших гармонических.

На основании анализа кривых токов намагничивания фирма ГЕС указывает соотношения для различных составляющих в волне тока намагничивания, приведенные в табл. 1.

Схема выполняется таким образом, что в рабочую катушку реле через фильтр $L_1 C_1$ поступает основная составляющая тока. В тормозную катушку попадает составляющая, пропорциональная полному току, циркулирующему в схеме, и, кроме того, через фильтр $L_2 C_2$ попадают высшие гармоники, содержащиеся в токе дифференциальной цепи.

Купроксные выпрямители K_y-1 и K_y-2 применяются для исключения влияния сдвига фаз между токами основной и высших гармонических. Промежуточные трансформаторы T_1 и T_2 имеют назначением уменьшение габаритов куп-

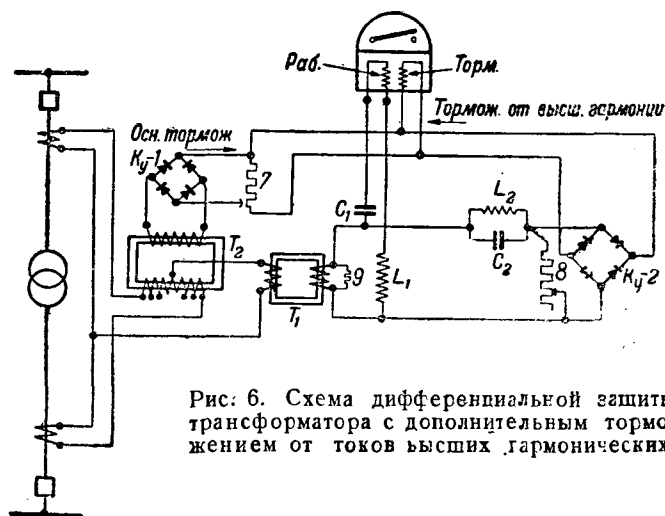


Рис. 6. Схема дифференциальной защиты трансформатора с дополнительным торможением от токов высших гармонических.

Таблица 1

Составляющая тока	Отношение амплитуды составляющей к основной гармонике, %
Основная гармоника	100
Постоянная составляющая	57,7
Гармоники:	
вторая	63
третья	26,8
четвертая	5,1
пятая	4,1
шестая	3,7
седьмая	2,4

роксов, а также уменьшение влияния постоянной составляющей тока. Торможение основное регулируется на 15, 25 и 40%. Торможение от высших гармонических пропорционально средней квадратической от значений различных гармоник.

По своей идее схема является весьма интересной, однако насколько успешно она решает поставленную задачу, пока еще трудно сказать. Обращает на себя внимание тот факт, что если при внутреннем к. з. токи будут весьма велики (например 20—30-кратные), трансформаторы тока получат большое насыщение. В результате этого вторичный ток к. з. будет иметь большой процент высших гармонических, и тормозной момент реле может превзойти рабочий, в результате чего защита откажет в действии. Очевидно, по этим причинам фирма рекомендует в цепь защиты включать дополнительно реле дифференциальной отсечки. Кроме того, указывается, что в тех случаях, когда токи к. з. могут превосходить 20-кратное значение по отношению к номинальному, рекомендуется обращаться к фирме за дополнительными инструкциями. В этом, очевидно, кроются опасения за правильность работы защиты. Таким образом, прежде чем дать окончательное суждение о возможностях предложенной схемы защиты, необходимо провести ее исследование.

Схема, использующая третий отличительный признак токов намагничивания, предложена Я. Н. Штрафун и имеет ту особенность, что по-

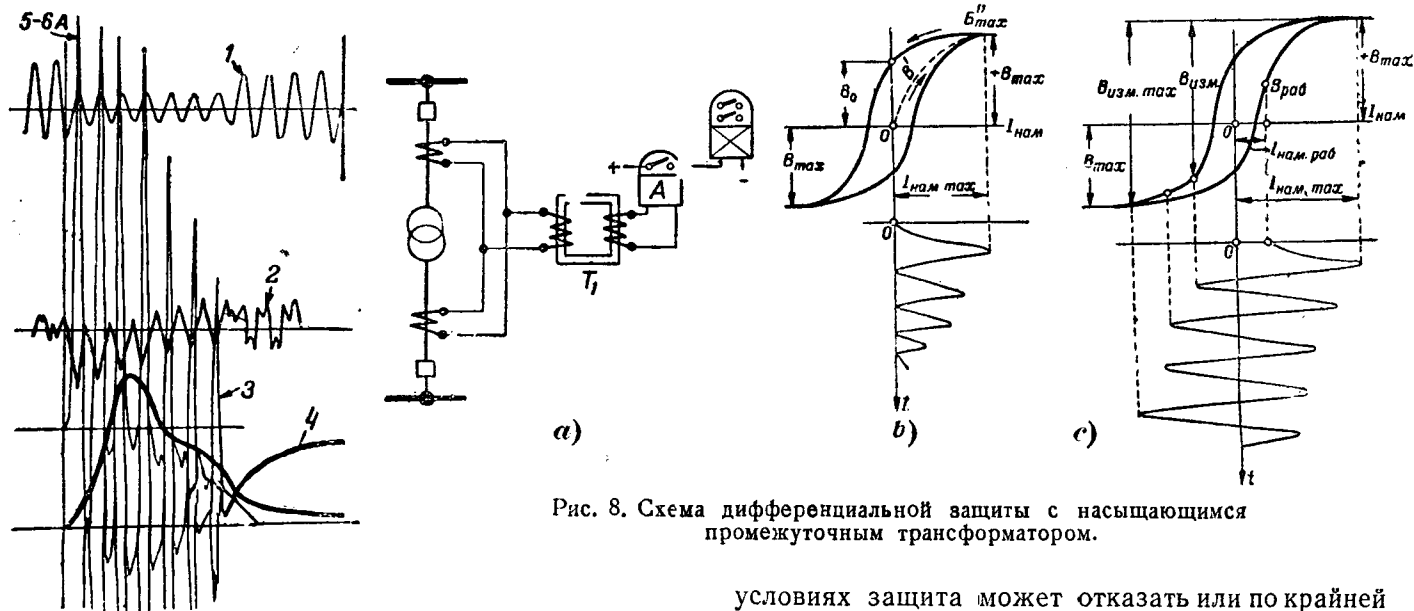


Рис. 7. Осциллограммы напряжения и токов в дифференциальных защитах при сквозном двухфазном к. з., показывающие влияние насыщения железа трансформаторов тока.

1—напряжение; 2—ток реле дифференциальной защиты трансформаторов; 3—ток дифференциальной защиты шин; 4—ток в нулевом проводе присоединения, на котором было двухфазное к. з.

стоянная составляющая тока намагничивания блокирует действие дифференциальной защиты. В схеме имеются два вспомогательных реле блокировки, через контакты которых проходит выходящая цепь дифференциальной защиты. Специальным подбором витков катушек переменного и постоянного тока вспомогательных реле автор добивается того, что при отсутствии постоянной составляющей в дифференциальном токе оба вспомогательных реле блокировки срабатывают и замыкают цепь на отключение трансформатора. При наличии постоянной составляющей в токе намагничивания одного из вспомогательных реле блокировка не срабатывает, и цепь на отключение трансформатора остается разомкнутой. Таким образом, предполагается, что если в цепи реле защиты действуют намагничивающие токи, имеющие большую постоянную составляющую, то одно из вспомогательных реле блокировки не срабатывает, выходная цепь защиты остается разомкнутой, и трансформатор не отключается. Если же в цепи реле защиты действуют токи к. з., не имеющие постоянной составляющей, то оба вспомогательных реле блокировки срабатывают и замыкают цепь на отключение трансформатора. Принципиальные положения, принятые в основу построения схемы, как будто удовлетворяют поставленным требованиям. Однако, это будет справедливым только до тех пор, пока в токе к. з. действительно отсутствует постоянная составляющая. Но не во всех случаях можно на это рассчитывать. На осциллограмме рис. 7 видно, что в токе к. з. имеется значительная и медленно затухающая постоянная составляющая. В этих

Рис. 8. Схема дифференциальной защиты с насыщающимся промежуточным трансформатором.

условиях защита может отказать или по крайней мере замедлить свое действие. Во всяком случае и эта схема, прежде чем получить окончательную оценку, должна быть всесторонне исследована.

Представляет интерес предложенная одной из фирм схема с насыщающимся промежуточным трансформатором (рис. 8,а). Как видно из рисунка, действие схемы основано на том предположении, что изменение магнитной индукции в железе (рис. 8,б) промежуточного трансформатора тока T_1 при токе включения значительно меньше, чем при токе короткого замыкания (рис. 8,с). В результате ток во вторичной обмотке трансформатора при токе включения также будет значительно меньше.

Таким образом, предполагается возможным выполнить защиту, действующую только при токах короткого замыкания. Однако, и эта схема безусловно требует предварительного анализа и испытаний.

Как видно из всего вышеизложенного, на сегодня еще нельзя сказать, что вопрос отстройки дифференциальной защиты трансформаторов от токов намагничивания является разрешенным. Искания в этой области должны продолжаться. Осциллограммы показывают, что напряжение при включении трансформатора достигает своего нормального значения почти мгновенно. Возможно, что использование этого фактора позволит найти более эффективное решение вопроса торможения или блокировки дифференциального реле. До тех пор, пока не будет найдено удовлетворительное решение, возможно, что на трансформаторных группах большой мощности в некоторых случаях целесообразно применять предложенный в 1935—1936 г. [Л. 5] способ выполнения самостоятельной защиты для каждой обмотки, так называемой «раздельной защиты» и т. д.

Целесообразно сочетать действие замедленной дифференциальной защиты с мгновенной токовой отсечкой, что широко применяется в Мосэнерго; по условиям чувствительности отсечку

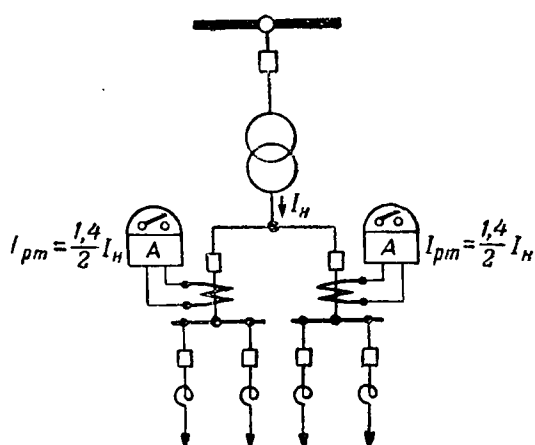


Рис. 9. Повышение чувствительности максимальной токовой защиты мощного трансформатора расщеплением вывода обмоток вторичного напряжения.

желательно включать в дифференциальную цепь (дифференциальная отсечка). С эксплуатационной же точки зрения, особенно в сетях, удобнее отсечку включать на отдельный трансформатор тока, так как при отключении дифференциальной защиты во время эксплуатационной проверки отсечка в сочетании с газовой и максимальной защитами составляет, по существу, почти полноценную защиту трансформатора.

Особенности максимальной защиты трансформаторов большой мощности. Весьма затруднительно обеспечить действие максимальной защиты трансформатора большой мощности при к. з. за фидерным реактором. Действительно при мощности трансформатора, например, 60 000 кВА и напряжении 6,6 кВ, ток трогания защиты по нагрузке должен быть принят порядка $I_{pm} = 1,4 \times I_n = 1,4 \cdot 60\,000 = 84\,000$ А. В то же время ток к. з., протекающий через трансформатор, при к. з. за реактором фидеров, может быть порядка 7–8 тыс. А. При отказе в отключении выключателя поврежденного фидера к. з., по видимому, не отключится, что может привести к очень тяжелым авариям и разрушениям оборудования. В практике эксплуатации такие аварии имели место. Выходом из положения в подобных случаях может служить расщепление выводов 6,6 кВ в развилку и соответствующее секционирование шин (рис. 9).

В этих условиях ток трогания защиты на каждом из двух выключателей стороны низкого напряжения трансформатора будет уменьшен в два раза и, таким образом, защита трансформатора будет резервировать выключатели реактированных фидеров. Такое решение усложняет распредустройство и поэтому может рассматриваться только в качестве вынужденного. Окончательное решение, очевидно, надо искать по пути применения фильтров.

Защита линий высокого напряжения. Переходя к разделу защиты линий высокого напряжения, необходимо сказать, что этот раздел является одним из наиболее сложных и многие охватываемые им вопросы недоработаны.

Рассматривая защиту линий, удобно их разбить на три категории: 1) линии малой длины, 2) средней длины, 3) линии весьма большой протяженности.

Оставляя в стороне вопросы защиты радиальных линий, которые в основном решаются с помощью простых максимальных токовых защит, остановимся кратко на вопросах защиты сложных сетей, начиная с напряжений 30 кВ.

Наиболее распространенными в сетях 30 кВ являются импедансные защиты. При большом числе действующих разновидностей импедансной защиты сетей 30 кВ они по результатам работы примерно равноценны. Например, для наиболее распространенных типов защиты за три последних года по системе Мосэнерго был зарегистрирован следующий процент правильной работы: защита АЕГ—91%, Сименса типа RZ_{1n} и R_{2n}—95%, защита ХЭМЗ типа ИИ-120—96,4%.

Проведенное решение о переделке защиты сетей 30 кВ на двухрелейное исполнение дает основание предполагать, что процент правильной работы повысится.

Опыт эксплуатации показал, что основными факторами, определяющими правильную работу защиты, являются: быстрота действия и простота исполнения. Если нельзя говорить, что перевод защит на двухрелейное исполнение в какой-либо мере повышает ее быстроту действия, то выигрыш за счет упрощения защит получается бесспорным. По существу снимается с повестки дня вопрос блокировки отстающей фазы при двойных замыканиях на землю в разных точках, уменьшается количество кинематически сложных реле и т. п. За этот счет схемы защит получаются более простыми и, очевидно, более надежными.

Спорным в этой части до последнего времени оставался вопрос о типе характеристик: каким характеристикам отдать предпочтение — наклонным или ступенчатым. Возможно, что этот вопрос не имеет принципиального значения. Однако, каждое решение имеет свои особенности. Эксплуатационно более удобны наклонные характеристики, они облегчают подбор характеристик селективности на смежных линиях разной длины. Но реле с наклонными характеристиками, как правило, кинематически более сложны и требуют высокого качества их производства. С нашей точки зрения в этом вопросе решающим является только уровень культуры заводов, производящих реле.

Защита линий 110 и 220 кВ. Быстрота действия защит сетей 110—220 кВ диктуется, главным образом, соображениями динамической устойчивости системы. На линиях малой длины, как известно, первая ступень дистанционных защит является или мало эффективной или просто невозможной. Установка же защиты с высокочастотной блокировкой нерентабельна. Поэтому на линиях малой длины более целесообразно устанавливать продольные дифференциальные защиты, используя соединительный кабель одновременно для целей защиты, связи, измере-

ний и автоматики. Опыт эксплуатации показал, что продольные дифференциальные защиты, применяемые в Мосэнерго, дают удовлетворительные результаты (НСВ—92%, транслей—98,9%). Защита типа НСВ обладает некоторыми преимуществами по сравнению с защитой транслей, с точки зрения быстроты действия, простоты и устойчивости характеристик. Пониженный процент правильной работы защиты НСВ по сравнению с защитой транслей в данном случае не является показательным, так как случаи неправильной работы ее вызваны причинами, не характеризующими качество и принцип защиты. За последние 5—7 лет стал господствующим взгляд, что необходимо упростить контроль исправности жил соединительного кабеля.

Наиболее вероятным видом повреждения является потеря изоляции жил кабеля по отношению к земле и обрыв (как правило) в местах их соединения.

За 7—8 лет эксплуатации кабелей общей протяженностью свыше 100 км в системе Мосэнерго имели место только два случая повреждения изоляции между жилами, из которых действительным повреждением был только один. Потеря же изоляции по отношению к земле случается очень часто и значительно реже — обрыв. Вопрос контроля исправности жил соединительного кабеля, нам представляется, должен решаться следующим образом: 1) автоматический постоянный контроль обрыва всех жил и изоляции по отношению к земле; 2) ручной периодический замер изоляции между жилами и обрыва отдельных жил. Опыт подтверждает, что подобный контроль является вполне достаточным и удовлетворительным [Л. 8].

Защита линий средней длины. Наиболее распространенными защитами линий длиной от 20 км и выше, как известно, являются защиты дистанционные импедансного и реактивного типов. Общий их недостаток заключается в том, что при к. з. в пределах определенной части длины линии они действуют с выдержкой времени. С этой точки зрения их нельзя полностью отнести к разряду быстродействующих. Защита, отключающая линию при к. з. в любой точке на всей ее длине, должна иметь соответствующее дополнительное приспособление, которое в практике выполняется в виде высокочастотной блокировки.

Дополнительные трудности, которые встают при использовании быстродействующих защит, являются: 1) координация действия с трубчатыми разрядниками; 2) координация действия с перегоранием предохранителей; 3) блокировка защиты при качаниях.

Опыт показал, что при атмосферных перенапряжениях установленные на линиях трубчатые разрядники могут работать каскадно. В этих условиях быстродействующая защита успевает сработать и произвести отключение линии. Для исключения подобных явлений, по существу, имеется только одна возможность — замедление защиты. Принципиально подобное решение не совсем приемлемо, однако на линиях, удаленных от

генерирующих центров на 30—50 км, оно вполне допустимо. На линиях, отходящих непосредственно от шин генерирующих центров, где условия динамической устойчивости не всегда позволяют замедлять защиты, решение получается, естественно, более сложным.

Определенные трудности при наладке эксплуатации быстродействующей защиты вносит вопрос увязки действия защиты с перегоранием предохранителей при к. з. во вторичных цепях трансформаторов напряжения. Известные блокировки защиты при подобных явлениях, к сожалению, приходят в действие только после того, как предохранитель уже сгорит. За это время защита успевает сработать, поэтому действие блокировки — бесполезное [Л. 9].

Решение подобной задачи возможно одним из двух способов: 1) введением сопротивлений асимметрии в цепи трансформаторов напряжения; 2) установкой вместо предохранителей быстродействующих автоматов с $t = 0,25$ периода переменного тока. Первый способ не везде дает удовлетворительное решение. Там, где общее сопротивление жил кабеля, отходящего от трансформатора, велико и токи к. з. малы, этот способ неприменим. Быстродействующие автоматы дают удовлетворительное решение во всех случаях.

Одним из наиболее сложных вопросов до последних лет был вопрос блокирования защиты при качаниях. Но на сегодня можно сказать, что этот вопрос разрешен. В настоящее время получили широкое распространение два способа блокировки: один основан на различных скоростях изменения полных сопротивлений, подводимых к реле в условиях качаний и к. з. [Л. 10]; второй способ — на наличии несимметрии при к. з. в отличие от условий качаний [Л. 11]. Оба способа не обнаружили отрицательных свойств, которые могли бы их целиком скомпрометировать. Правда, способ, основанный на принципе изменения полного сопротивления, является более простым. Однако, он неприменим на линиях большой протяженности, где нельзя получить достаточную разницу в настройках полного сопротивления срабатывания реле блокировки и реле отключения.

Опыт показывает, что при использовании современной союзной релейной аппаратуры можно ожидать надежного действия блокировки при условии, если отстройка импедансных реле равняется примерно двукратному значению. Важно отметить, что оба типа блокировки действуют успешно только в случае, если явление качаний не совпадает по времени с к. з. Если же расхождение роторов генераторов происходит до отключения к. з., то блокировка не может спасти положение.

Дополнительной проработки требует вопрос определения типа защиты для линий 110 и 220 кВ, т. е. каким защитами отдать преимущество — реактансным или импедансным. При металлических повреждениях это не существенно — защита любого из названных типов может работать с одинаковым успехом. Совсем другие условия складываются, когда повреждения про-

исходят через вольтовую дугу с большим переходным сопротивлением и отключается с выдержкой времени. В этих условиях реле защиты могут замерять расстояние от места их установки до места к. з. с большими ошибками и неправильно ликвидировать возникшее повреждение.

До последнего времени считалось, что в сетях напряжением 110 кВ и выше могут применяться преимущественно реактансные реле, поскольку они реагируют только на реактивную составляющую сопротивления. Однако, известно, что реактансные реле в определенных условиях могут давать большие ошибки, чем импедансные.

В практике Мосэнерго имело место несколько случаев неправильной работы реактансной защиты, которые были отнесены за счет преуменьшенных замеров омметров. Как значительные ошибки в этих условиях импедансных реле, — пока трудно сказать. Для этого надо знать пределы действительных значений сопротивления вольтовой дуги. Литературные методические указания к определению сопротивления дуги недостаточны. И этот вопрос является важным и заслуживающим первостепенного внимания со стороны работников как эксплуатации, так и научно-исследовательских организаций. Надо ближе подойти к его изучению.

Вспомогательные и резервные защиты. К вспомогательным следует отнести такие защиты, как, например, дифференциальные поперечные и максимальные токовые отсечки. Эти защиты имеют весьма большое значение в деле обеспечения быстроты отключения к. з. Их целесообразно ставить везде, где только возможно. Они очень просты (особенно отсечки) и безусловно окупают затраты на их установку и обслуживание. Вместе с тем, их нельзя переоценивать и стараться ими полностью заменить современные совершенные защиты.

Вопрос о резервных защитах в высоковольтных сложных сетях является одним из наиболее сложных. Экономические соображения не позволяют выполнять эти защиты на базе использования дефицитных и дорогостоящих реле, так как работать им приходится чрезвычайно редко. В то же время отказаться от них было бы также неправильным. За последние 6 лет в системе Мосэнерго имели место два случая работы резервной защиты, когда отсутствие их могло бы привести к весьма крупным авариям. Следовательно, необходимость их установки с нашей точки зрения является бесспорной. Другой вопрос, как подойти к выбору типа защиты и настройке их характеристик, чтобы по возможности полнее удовлетворить требованиям селективности и динамической устойчивости системы. На первую часть вопроса ответ получается однозначным — защиты должны быть максимально простыми, в пределах возможности. Значительно труднее дать общий ответ на вторую часть вопроса. Здесь не может быть на наш взгляд единого решения. В каждом конкретном случае надо оценивать обстановку и в соответствии с этим принимать ре-

шение. Безусловно общим является положение, что для резервных защит целесообразно подбирать характеристики отдельно для однофазных замыканий на земле и для междуфазных к. з. При этом приходится допускать неселективные отключения отдельных подстанций и даже целых узлов и направлений в интересах спасения всей системы от потери динамической устойчивости.

Защита линий весьма большой протяженности. Существующие защиты, основанные на дистанционном принципе, могут успешно применяться только до тех пор, пока электрические параметры, характеризующие нормальное и аварийное состояние линий, значительно различаются.

Например, линия 220 кВ длиной порядка 300 км имеет примерно следующие данные, из которых должно исходить при определении параметров настройки защиты:

полное сопротивление, замеряемое при рабочем режиме,

$$Z_{\text{раб}} = \frac{U_{\text{min раб}}}{I_{\text{max раб}}} = \frac{210 \cdot 1000}{700} = 300 \Omega;$$

полное сопротивление линии

$$Z_{\text{л}} = Z_{\text{уд}} L = 0,4 \cdot 300 = 120 \Omega;$$

полное сопротивление петли при двухфазном к. з.

$$Z_{\text{к.з.}}^{(2)} = 2 \cdot Z_{\text{л}} = 2 \cdot 120 = 240 \Omega;$$

полное сопротивление трогания пускового органа

$$Z_{\text{рм}} = Z_{\text{раб}} \frac{k_{\text{с}}}{k_{\text{зан}}} = 300 \cdot \frac{0,85}{1,1} = 230 \Omega,$$

т. е.
$$Z_{\text{рм}} < Z_{\text{к.з.}}^{(2)}.$$

Таким образом, защита даже не охватывает всей длины линии или, другими словами, при двухфазном к. з. в конце линии защита может не действовать. В этих условиях обычные упрощенные методы анализа параметров электропередачи и подбора характеристик защиты уже не всегда могут дать удовлетворительное решение.

Используемый в США метод анализа векторных значений полных сопротивлений и соответствующего графо-аналитического подбора характеристик реле должен в подобных случаях, очевидно, помочь решению задачи. По этому вопросу данные, приведенные Г. И. Атабековым [Л. 12], представляют большой интерес и имеют практическое значение.

Автоматическое повторное включение линий электропередачи (АПВ). Автоматическое повторное включение линий электропередачи является одним из весьма эффективных и общепризнанных противоаварийных средств. Особенно широкое распространение автоматическое повторное включение получило в США [Л. 12], где только в одной из энергосистем в течение 1941 г. имело место свыше 10 000 действий АПВ.

При решении вопросов внедрения АПВ, естественно, встречается много трудностей принципиального и практического порядка. К трудностям принципиального порядка можно отнести следующие: 1) выбор удачной конструкции схемы включения; 2) быстрота действия, связанная с сохранением в работе двигателей потребителей и обеспечением требований устойчивости генераторов системы; 3) увязка действия АПВ с действием релейной защиты и ряд других вопросов, возникающих при пофазном АПВ, о чем будет сказано ниже.

К трудностям практического порядка относятся: отсутствие требуемой аппаратуры, приспособление существующей отключающей аппаратуры к АПВ, и, наконец, наладка самой эксплуатации. Ниже остановимся кратко на более важных из перечисленных вопросов. Существующие устройства АПВ можно подразделить на следующие основные группы:

1. Трехфазные АПВ, включающие: а) механические АПВ к приводам с ручным управлением; б) электрические индивидуальные и групповые АПВ без проверки синхронизма, к приводам с дистанционным управлением; в) электрические АПВ с проверкой синхронизма.

2. Пофазные АПВ, включающие: а) АПВ конечных линий и б) АПВ транзитных линий.

Существует много разновидностей практического исполнения схем и конструкций устройств АПВ. Все они обладают своими достоинствами и недостатками. Общие же положения можно свести к следующему.

1. Механические АПВ для приводов с ручным управлением выполняются в двух принципиально различных разновидностях, когда для включения выключателя используется или пружина, или груз. Принципиально предпочтение надо отдать грузовым устройствам. При включении выключателя грузом наибольшее усилие и наибольшая скорость движения траверзы (несущей подвижные контакты выключателя) имеют место к концу хода траверзы, в момент замыкания контактов выключателя. Это упрощает наладку АПВ и — обеспечение надежности полного включения выключателя. Удары живой силы, передаваемые на токоведущую систему выключателя от «свободно падающего» груза, можно компенсировать специальным пружинным демпфером. При включении выключателя с помощью пружины она развивает наибольшее усилие в начале движения траверзы, которое затухает к концу движения. Кроме того, будучи в течение длительного времени в состоянии напряжения (растянута или закручена), пружина с течением времени может деформироваться. Существует поэтому опасность недовключения выключателя.

Успешному внедрению АПВ способствовало то обстоятельство, что при разработке конструкции учитывались требования эксплуатации в части: упрощения переделок действующего оборудования, простоты для обслуживания и возможности простого перехода на ручное управление, в случаях необходимости. Разработанные в Мосэнерго совместно с ОРГРЭС [Л. 13] в последние

годы конструкции в значительной мере отвечают указанным требованиям и это обеспечило внедрение сравнительно большого количества АПВ в короткие сроки.

2. Касаясь АПВ для приводов с дистанционным управлением, можно отметить также две принципиальные разновидности этих устройств, а именно: 1) с ручным возвратом к готовности для последующего цикла срабатывания и 2) с автоматическим. Преимущество устройств с ручным возвратом заключается в том, что они, как правило, значительно проще по своему конструктивному исполнению. Например, модернизированная в Мосэнерго схема Уралэнерго [Л. 14, 15] включает в себе только одно простейшее реле (типа РП-2). Схема, разработанная Горэнерго [Л. 16], также состоит из одного механического устройства весьма простой конструкции и совсем не требует релейной аппаратуры. Первая схема получила широкое распространение и себя оправдала. Об успехах второй схемы сказать еще трудно, поскольку она не прошла эксплуатационного опыта. Но схемы с ручным возвратом обладают тем существенным недостатком, что их последующее действие каждый раз зависит от своевременного вмешательства персонала. Это не всегда может быть обеспечено, особенно на подстанциях, где не установлено постоянного дежурства персонала. В практике Мосэнерго имел место случай, когда в течение примерно двух часов автомат одной линии 110 кВ срабатывал 10 раз и все успешно. Если бы автомат не имел автоматического возврата, то персонал не сумел бы каждый раз подготовить его к последующему действию, так как обстановка подстанции была тяжелой. В результате этого получилось бы обесточение областного города.

Сказанное позволяет утверждать, что преимущественное предпочтение должно быть отдано автоматам с автоматическим возвратом, особенно на подстанциях, не имеющих постоянного дежурства персонала.

Замена дефицитных реле времени зарядным контуром, состоящим из емкости и активного сопротивления, позволит упростить и практическую часть задачи. Такая схема разработана в Мосэнерго и есть все основания к ее широкому распространению. В связи с недостатком релейной аппаратуры иногда целесообразно применять групповые АПВ, когда один комплект АПВ обслуживает любое число линий. Такая схема также разработана и применена. С точки зрения релейной аппаратуры такая схема является выгодной, однако сложнее получается проводка и обслуживание. Поэтому при наличии релейной аппаратуры предпочтение все же следует отдать индивидуальным АПВ.

3. Все сказанное относилось к автоматам преимущественно конечных линий, когда отсутствует опасность включения линий на несинхронное напряжение. Сложнее решается вопрос, когда АПВ требует проверки синхронизма. Основная трудность заключается в способе замера напряжения со стороны линии, так как из-

вестно, что в Советском Союзе трансформаторы напряжения на линиях не устанавливаются, а устройства ПИН на втулках выключателей также отсутствуют. Поэтому практически широкое распространение АПВ с проверкой синхронизма на сегодня было осуществлено только на линиях, имеющих высоковольтные конденсаторы связи для целей высокочастотной связи или защиты [Л. 16]. Принципиален вопрос о скорости цикла АПВ. Действующая у нас релейная аппаратура, особенно масляные выключатели, не позволяют рассчитывать на сохранение синхронизма при АПВ линий, представляющих одиночные связи между отдельными генерирующими центрами. Время полного цикла АПВ превосходит 1—2 сек. С такими скоростями АПВ с проверкой синхронизма можно применять только на линиях, имеющих параллельные связи, или на линиях с очень большим сопротивлением, несинхронное включение которых маловероятно и неопасно. При этом, если АПВ включается на параллельных линиях, то необходимо проверять, чтобы время полного цикла АПВ было меньше выдержки времени резервных защит, так как только в этом случае их действие будет эффективным.

Из сказанного следует, что для успешного распространения АПВ на транзитных линиях необходимо решить две принципиальные задачи: 1) отбора напряжения с линий и 2) убыстрения действия релейной аппаратуры и особенно выключателей.

Решение первой задачи, очевидно, должно идти по пути широкого применения ПИН. Решение второй задачи должно идти по пути применения быстродействующих выключателей. Внедрение разработанного и прошедшего полевые испытания воздушно-импульсного выключателя 110 кВ ВЭИ должно содействовать разрешению этой задачи.

Пофазное автоматическое повторное включение. Трехфазное АПВ обладает тем принципиальным недостатком, что, отключая все три фазы полностью, оно тем самым прерывает передачу электроэнергии по данной линии. Последнее, естественно, приводит на конечных линиях к прерыву подачи электроэнергии потребителям; на транзитных линиях одиночных связей — к потере синхронизма между отдельными частями энергосистемы. Учитывая, что подавляющее число повреждений на линиях высокого напряжения относится к однофазным, естественно, следует считать, что введение пофазного АПВ имеет большие основания. При решении задачи внедрения пофазного АПВ встречаются следующие группы вопросов: 1) конструкция приводов; 2) выбор соответствующего типа избирателя поврежденной фазы; 3) возможность перевода линии на длительную двухфазную работу в случае устойчивого повреждения отключившейся фазы.

Оставляя в стороне вопрос о конструкции приводов, остановимся кратко на двух последних группах вопросов. Следует отметить, что эти вопросы имеют различное решение для конечных и транзитных линий.

Концевые линии с односторонним питанием

имеют более простые решения. Разработка и опыт наладки [Л. 18, 19] показали, что в качестве избирателя поврежденной фазы для концевых линий с успехом могут быть использованы токовые реле на отправительном конце и реле мощности, включенные по специальной схеме, на приемном конце. На транзитных линиях избиратель поврежденной фазы получается более сложным. В системе Мосэнерго разработан и внедрен избиратель, основанный на ваттметровом принципе, использующем токи нулевой и отрицательной последовательностей. Такой избиратель обеспечивает четкий выбор поврежденной фазы при однофазных замыканиях на землю.

Более серьезные вопросы встают при решении задачи автоматического перевода линии на длительную двухфазную работу. Эти вопросы сводятся к следующему: 1) ухудшению условий устойчивости системы; 2) появлению влияний на линии проволочной связи, приводящих к полному выходу из строя последней; 3) трудностям обеспечения правильной работы защиты на прилегающих участках системы, при последующих несимметричных повреждениях в сети; 4) опасности большой асимметрии нагрузки генераторов.

Поставленные вопросы имеют различные решения.

Пределы допустимых нагрузок с точки зрения устойчивости можно определить с помощью расчетов. Влияние несимметричной нагрузки на линии проволочной связи также сравнительно легко определить путем организации специальных испытаний, заключающихся в переводе линии на двухфазную работу, и наблюдении за поведением средств связи. Гораздо сложнее обстоит вопрос с обеспечением правильных действий защиты при последующих несимметричных повреждениях в сети при сложной конфигурации ее. Расчеты при этом очень громоздки и малодоступны для инженеров эксплуатации. Также серьезно обстоит дело с несимметричной нагрузкой генераторов. Электромашиностроительные заводы не гарантируют безопасности генераторов при их длительной работе с несимметричной нагрузкой.

Поэтому приняты два решения по применению пофазного АПВ и автоматического перевода линий на двухфазную работу:

1. Для конечных и транзитных линий, перевод на двухфазную работу которых не вызывает заметной асимметрии в нагрузке генераторов, а также не вызывает особых осложнений с релейной защитой в системе, пофазное АПВ выполнять с автоматическим переводом линии на длительную двухфазную работу при устойчивом повреждении на отключившейся фазе.

2. Для транзитных (особенно блок-овых) линий, длительная двухфазная работа которых неоправдательна с точки зрения работы генераторов и релейной защиты, АПВ выполнять с возложением на них следующих функций: отключения поврежденной фазы, авто-

матического повторного включения ее и в случае устойчивого повреждения отключения всех трех фаз линии.

Учитывая, что подавляющее большинство повреждений на линиях, особенно на линиях 220 кВ, являются переходными, можно считать, что для большинства случаев задача разрешается успешно. Специальные испытания с пофазными АПВ на линии 220 кВ длиной порядка 300 км, проведенные в системе Мосэнерго, показали, что при времени цикла АПВ, равного примерно 1,75 сек., генераторы с нагрузкой до $100 \cdot 10^3$ кВт, связанные с системой через рассматриваемую линию при блоковой схеме, удержались в синхронизме с небольшими качаниями. Анализ осциллограмм показывает, что при наличии электронных регуляторов напряжения на всех генераторах передаваемая мощность по линии при этом может быть значительно увеличена. Вместе с тем, сказанное совсем не является доказательством того, что все вопросы, связанные с проблемой АПВ, уже разрешены. Наоборот, необходимо самое серьезное их изучение, так как эта проблема имеет весьма большое экономическое значение для народного хозяйства.

Автоматическое включение резервного питания. Экономическое значение автоматического включения резервного питания, очевидно, и не вызывает никаких сомнений. Анализ аварийных отключений трансформаторов за последние 3—5 лет только по высоковольтным сетям системы Мосэнерго доказывает, что из 52 случаев имевших место отключений примерно в 45—47 случаях при наличии автоматического включения резерва питание потребителей было бы сохранено. При решении вопросов автоматического включения резервных линий не возникало сомнений. В то время как при решении тех же вопросов применительно к трансформаторам и шинам возникли сомнения следующего порядка: можно ли включать резервный трансформатор или выключатель, связывающий отдельные секции шин, при отключении рабочего трансформатора вследствие любых причин, даже при возникновении повреждения на шинах? Этот вопрос прошел две стадии. В первой стадии большинство инженеров склонялось к отрицательному решению поставленного вопроса и в соответствии с этим выполнялись схемы автоматического включения резервного питания. За последнее время точка зрения на этот вопрос изменилась и в связи с этим изменились и схемы включения резервного питания. В настоящее время рекомендуются схемы включения резервного питания, гарантирующие включение резервного источника при отключении выключателя рабочего трансформатора по любым причинам, включая и к. з. на шинах. Опыт некоторых энергосистем показал, что если убирать отключение коротких замыканий на шинах, например, применением отсечек с $t = 0,7 \div 1$ сек. (при наличии мгновенных отсечек на фидерах), то большинство из них самоликвидируется. Следовательно, включение резервного источника (рис. 10) во всех этих случаях будет успешным. Широкое внедрение автоматического

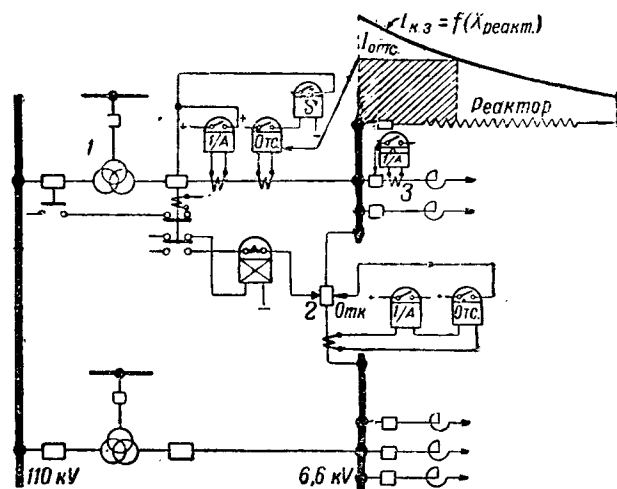


Рис. 10. Комплексное решение вопросов ускорения отключения к. з. на шинах 6,6 кВ и включения резервного источника питания.

1—трансформатор; 2—шинносоединительный выключатель; 3—фидер.

включения резервного питания в Советском Союзе происходит только за последние годы.

Опыт ближайшего будущего позволит проверить правильность принятых решений.

Направления конструктивного исполнения схем и реле, используемых для целей защиты и системной автоматики. Существенным в вопросах о требованиях к схемам защиты является тот факт, что за последнее время получила всеобщее признание тенденция их упрощения. Безусловно оправдывает себя упрощение схем за счет исключения сложных надстроек, рассчитанных на маловероятные случаи. Дальнейшее упрощение схем должно идти по пути максимально возможного исключения кинематически сложных элементов и замены их принципиально новыми конструктивными исполнениями, использующими новейшие достижения теории (фильтры, сухие выпрямители и т. п.).

Большое внимание в релестроении за последнее время уделяют требованиям малогабаритности и быстродействия, ищутся совмещения нескольких элементов в одном корпусе. Быстродействие релейной аппаратуры, помимо разрешения основных задач, гарантирует высокую надежность правильности их действия, поскольку реле работают в условиях, близких к расчетным. Недостаточно ясно, однако, как влияют на поведение защиты переходные процессы в трансформаторах тока.

Современная техника релестроения достигла определенных успехов в указанных направлениях. Исполнение реле с временем действия в период и доли периода не является уже проблемой. Более того, согласно некоторым данным одной фирмой разработано поляризованное реле с временем действия в 0,001 сек. на замыкание контактов и 0,0004 на размыкание, с мощностью контактов в 100 Вт при 230 В постоянного тока. При испытании на долговечность, после 250 000 000 срабатываний с током через контакты в 20 А как реле, так и его контакты оказались в удовлетворительном состоянии. Этот пример показы-

вает, насколько большое и первостепенное значение придается скорости действия аппаратуры.

Закключение. Закон о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР ставит перед энергетиками и заводами электроаппаратостроения ряд весьма сложных и ответственных задач, ждущих своего неотложного разрешения. Для выполнения этих задач необходимо широко развернуть работы как теоретического, так и экспериментального порядка. Необходимо на базе теоретической разработки организовать серию испытаний с широким использованием осциллографирования и последующим теоретическим обобщением процессов работы устройств защиты и автоматики, включая в этот комплекс также и генераторы, трансформаторы и линии. Такие задачи могут быть выполнены только совместными усилиями работников энергосистем, заводов и научно-исследовательских организаций. Наблюдающееся в области релестроения серьезное отставание нашей электропромышленности от уровня мировой техники должно быть быстро преодолено. Энергосистемы СССР должны быть оснащены наиболее современной, надежной, быстродействующей и работающей по достаточно простым схемам аппаратурой релейной защиты.

Литература

1. H. T. Seeley. The Effect of Current-Transformer Residual Magnetism on Balanced-Current or Differential Relays. El. Eng., апрель, 1943.
2. E. C. Wentz, W. K. Sonnenman. Current Transformers and Relays for High-Speed Differential Protection with Particular Reference to off set Transient Currents. El. Eng., август, 1940.
3. Рюденберг. Явления неустановившегося режима в электрических установках, стр. 59, ГОНТИ, 1931.
4. E. L. Michelson. Rectifier Relay for Transformer Protection. El. Eng., № 5, 1945.

5. И. И. Соловьев. Раздельная дифференциальная защита трансформаторов большой мощности. Бюллетень Мосэнерго, № 19, 1936.

6. И. И. Соловьев, М. А. Беркович, Н. В. Чернобровов. Принцип действия быстродействующей балансной токовой защиты (НСВ) Вестингауз. Релейная защита и системная автоматика Мосэнерго, Госэнергоиздат, 1946.

7. И. И. Соловьев. Информационные материалы, Мосэнерго, 1945.

8. И. И. Соловьев, М. А. Беркович. Автоматический контроль исправности соединительных проводов продольных дифференциальных защит. Релейная защита и системная автоматика Мосэнерго, Госэнергоиздат, 1946.

9. П. К. Фейст. Быстродействующая блокировка защиты при коротких замыканиях в цепях напряжения. Электрические станции, № 1, 1941.

10. М. Ф. Мельников, В. З. Никитский, Е. Д. Сапир и Н. В. Чернобровов. Испытания и опыт эксплуатации высокочастотной защиты Вестингауз. Электрические станции, № 8, 1941.

11. Е. Н. Потехин. Схемы блокировки дистанционных защит при качаниях. Электрические станции, № 9, 1939.

12. Г. И. Атабеков. Пути развития современной техники релейной защиты. Электричество, № 9—11, 1945.

13. В. М. Иванников, А. М. Мессерер. Грузовой привод КАМ-2 для АПВ, ТИМ-ВВС, № 4, 1944.

14. В. П. Пименов. Автоматическое повторное включение в воздушных сетях Урала. Электрические станции, № 4—5, 1939.

15. Б. А. Хомутов. Упрощение схемы АПВ Уралэнерго. Электрические станции, № 7, 1944.

16. В. П. Пименов. АПВ магистральных линий 110 kV и синхронизации на линейном выключателе. Электрические станции, № 2, 1946.

17. Л. П. Лавриченко. Наладка пофазного АПВ и перевод на двухфазную работу линии 110 kV. Релейная защита и системная автоматика Мосэнерго, Госэнергоиздат, 1946.

18. П. К. Фейст. Схема защиты и пофазное АПВ линий с односторонним питанием. Электрические станции, № 3, 1946.

19. В. М. Ермоленко. Избирательные органы для пофазных АПВ. Материалы совещания по релейной защите и системной автоматике НКЭС, декабрь, 1945.

20. Г. И. Атабеков, А. М. Федосеев. Релейная защита, Госэнергоиздат, 1946.



Современное состояние катодной осциллографии

Доктор техн. наук, проф. И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

Впервые полные изображения быстро протекающих электрических явлений были получены при помощи электромагнитного шлейфового осциллографа, изобретенного около 50 лет назад. Современный хороший шлейфовый осциллограф может без заметных искажений записывать гармонические колебания частоты 5—10 кГц. Более высокие частоты и резкие (не гармонические) изменения напряжений и токов не могут быть правильно воспроизведены шлейфовым осциллографом. Весьма плодотворной мыслью было применение для целей регистрации подобных процессов катодного луча. Идея построения катодного осциллографа после длительного процесса развития получила блестящее техническое разрешение. Построенные в настоящее время катодные осциллографы позволяют детально изучать электрические явления, протекающие в отрезки времени 10^{-8} — 10^{-9} сек. Эти приборы содействовали необычайно быстрому развитию ряда областей техники и физики.

По мере усовершенствования катодных осциллографов область их применения непрерывно расширяется.

Целью этой статьи является обзор современных конструкций осциллографов и методов их применения.

Введение. Основные принципы работы катодного осциллографа сейчас хорошо известны и освещены в большом числе работ, появившихся за последние годы в иностранной и нашей литературе¹.

По способу получения электронов в разрядной трубке различают осциллографы с холодным и горячим катодом.

Приведем лишь вкратце, для связности изложения, основные характеристики катодного осциллографа и способы их определения.

Основными характеристиками катодного осциллографа являются скорость записи и чувствительность к отклоняющим напряжениям.

Дается обзор развития конструкций катодных осциллографов и схем их включения. Сопоставляются аппараты с холодным и горячим катодом. Рассмотрен вопрос о предельных скоростях записи. Описываются метод и схема включения осциллографа с горячим катодом, позволяющие в несколько раз увеличивать скорости записи прибора и значительно повышать его разрешающую способность. Показывается, что достигнуто предельное использование разрешающей способности (повышенной новым методом на 41%), которая определяется электронно-оптической системой трубки. Максимальная полученная скорость записи равна $200\,000\text{ км/сек}$, что в 4 раза превышает ранее достигнутые скорости.

Критерием эффективности катодного осциллографа является максимальная скорость перемещения электронного луча, при которой на фотоэмульсии после проявления виден отпечаток.

Объективно контрастность отпечатка определяется почернением, устанавливаемым фотометри-

ческим путем и равным 0,1. Почернение эмульсии определяется как бриггов логарифм отношения величин интенсивности падающего и проходящего пучка света (через засвеченную и проявленную эмульсию).

Эта характеристика остается применимой и в том случае, когда регистрация исследуемого явления производится не непосредственным воздействием электронов на эмульсию, а путем фотографирования изображения флуоресцирующего экрана.

При прочих равных условиях наибольшая скорость записи может быть получена при непосредственном воздействии электронами луча на фотоэмульсию, введенную в вакуум (внутривакуумное осциллографирование).

Следует отметить, что предел увеличению скорости записи катодным осциллографом ставится не только ограниченной мощностью электронного пучка, но и разрешающей способностью отклоняющей системы. Здесь играют роль следующие два фактора:

1. Собственная емкость отклоняющих пластин C_0 образует с волновым сопротивлением Z_0 проводов, подводящих регистрируемое явление, систему, искажающую осциллографируемое явление.

Искажение исследуемого явления зависит от произведения $Z_0 C_0 = T_0$. Так, в теоретическом случае регистрации прямоугольного импульса ($U = U_0$) луч будет смещаться напряжением

$$U = 2U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right). \quad (1)$$

Если, например, регистрируется фронт экспоненциальной волны с константой $T = 10^{-8}$ сек. и $T_0 = 0,9 \cdot 10^{-9}$ сек, то, как показывает анализ [Л. 2], изменение напряжения на осциллограмме будет

¹ Подробный обзор дан в монографии автора—Катодный осциллограф [Л. 1]; в ней приведена также обширная библиография до 1935 г.

происходить вдвое медленнее, чем действительное. С увеличением $\frac{T_0}{T}$ искажение фронта возрастает.

2. Искажения в осциллограмме определяются еще и тем, что в силу конечной своей скорости электрон движется в поле отклоняющих пластин определенный промежуток времени (t_n), в течение которого смещающее напряжение меняется.

Предположим, что в момент $t=0$ к отклоняющим пластинам приложен прямоугольный импульс напряжения U_n (при этом отвлекаемся от возможности искажения фронта этого скачка потенциала вследствие причин, отмеченных в предыдущем пункте).

Известно (например [Л. 1]), что величина смещения луча h на экране, отстоящем от центра пластин на расстоянии L , определяется выражением:

$$h = 0,5 \frac{U_n}{U} \frac{l}{d} L, \quad (2)$$

где l — длина отклоняющихся пластин; d — расстояние между ними; U — ускоряющее электроны напряжение.

Такое смещение h может получить лишь электрон, прошедший всю длину пластин l , а это происходит за время t_n . Следовательно, скорость смещения v определяется из отношения:

$$v = \frac{h}{t_n} = 0,5 \frac{U_n}{U} \frac{v_0}{d} L, \quad (3)$$

где

$$v_0 = 5,95 \cdot 10^7 \sqrt{U} \text{ [cm/sec]} \quad (4)$$

— скорость электронов в луче при $U=40 \text{ kV}$, $v_0 = 1,19 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}$.

Из (3), между прочим, вытекает, что при постоянном значении смещения h луча отношение $\frac{U_n}{U} = \text{const}$.

В силу (3) и (4) можно написать важное соотношение:

$$v = k \sqrt{U}, \quad (5)$$

которое означает, что разрешающая скорость регистрации катодным осциллографом данной конструкции или его *максимальная скорость записи* пропорциональна корню квадратному из ускоряющего напряжения.

Применим соотношение (3), (4) и (5) для установления максимальной скорости записи катодного осциллографа со следующими данными²: $l=3 \text{ cm}$, $d=0,6 \text{ cm}^2$; $L=34 \text{ cm}$; $U=40 \text{ kV}$; $h=6 \text{ cm}$. При этом находим $v_m = 240 \text{ 000 km/sec}$ [если $U=20 \text{ kV}$, то согласно (5) $v_m = 168 \text{ 000 km/sec}$].

² Имеется в виду катодноосциллографическая трубка (тип 2066 А), с которой проводились эксперименты, описанные ниже; l и d взяты округленно, так как в действительности пластины имеют сложное очертание и переменное расстояние d .

Прямоугольный фронт на осциллограмме превращается в косоугольный [Л. 6] с длительностью нарастания t_n .

При регистрации явлений другой формы отклоняющей системой будут вноситься различные искажения³, величина которых будет, вообще говоря, возрастать по мере приближения времени T изменения напряжения к интервалу t_n .

Пользуясь существующими данными, можно, далее, установить, что, допуская амплитудную погрешность регистрации $\xi = 2,5\%$ осциллографом с ускоряющим напряжением $U=20 \text{ kV}$ и длиной отклоняющих пластин $l=3 \text{ cm}$, можно записать гармоническое колебание с частотой $f=4,2 \cdot 10^8 \text{ Hz}$. Увеличением U до 40 kV при тех же значениях ξ и l можно получить $f=5,95 \cdot 10^8 \text{ Hz}$. Таким образом, увеличение разрешающей способности осциллографа равно 41% .

Максимальная скорость записи осциллографа при регистрации гармонического колебания с частотой $f=6 \cdot 10^8 \text{ Hz}$ с амплитудой $A=5,5 \text{ cm}$

$$v = 6,28 \cdot 6 \cdot 10^8 \cdot 5,5 = 207 \text{ 000 km/sec}.$$

Для получения фотографических регистраций применяются также следующие способы: а) осциллографирование через тонкую перегородку (обычно алюминиевую фольгу), отделяющую эвакуированную полость аппарата от атмосферного давления, так называемое ленардово окно; б) контактный, когда фотоэмульсия прикладывается к тонкому прозрачному экрану, покрытому со стороны катодного луча флуоресцирующим материалом; в) фотографирование изображения с флуоресцирующего экрана с помощью объектива.

Использование энергии луча при этих способах фотографирования идет в порядке убывания. В соответствии с этим уменьшаются и максимальные скорости записи. При увеличении напряжения ускоряющего электроны луча скорость записи увеличивается.

Мерой чувствительности осциллографа является отклонение луча на экране (в мм) при заданной разности потенциалов (V) на отклоняющих пластинках. При установленных геометрических размерах отклоняющих пластин и их положения относительно экрана чувствительность обратно пропорциональна первой степени напряжения, ускоряющего электроны. Таким образом, увеличение скорости записи, вообще говоря, ведет к уменьшению чувствительности. Существование осциллографов, в которых регистрация явлений производится не наиболее эффективным внутривакуумным методом, а одним из других, упоминавшихся выше, обусловлено поисками компромиссных решений вопросов эксплоатационной простоты, при достаточной скорости записи и необходимой чувствительности.

Развитие осциллографов началось с приборов, имеющих холодный катод, и именно этот тип раньше достиг своего высшего развития. С него мы и начнем обзор.

³ Этот вопрос подробно рассмотрен в ряде работ [Л. 1, 2, 6].

Осциллографы с холодным катодом. Внутривакуумное фотографирование. В 1894 г. Хесс применил катодный луч для записи изменений магнитных полей. Его аппарат, в котором фотографическая пластинка вводилась внутрь камеры, послужил (в отличие от широко распространенного мнения о приоритете Брауна) прототипом для позднейших конструкций. Временная развертка в аппарате Хесса осуществлялась перемещением самой фотографической пластинки.

В 1914 г. Дюфур создал конструкцию прибора и предложил ряд новых идей, позволивших резко усовершенствовать осциллограф. Дюфур применял для отклонения луча в обоих координатных направлениях электрические или магнитные поля. Фотографические пластинки помещались в вакуум, который поддерживался непрерывной работой насосов. При напряжении на трубке, равном 60 kV, Дюфур смог получить максимальную скорость записи $v_{\max} = 1\,000\text{ km/sec}$.

До 1925 г. особых достижений в построении осциллографов с холодным катодом не имелось. Однако, начиная с этого времени, развитие аппарата идет очень быстрыми шагами. Ряд исследователей в различных странах создали весьма совершенные аппараты и разработали методику работы с ними.

Автор и его сотрудники построили в ВЭИ несколько типов катодных осциллографов как однолучевых, так и многолучевых, и среди них аппарат под названием ПАКО-8, применяющийся в ряде лабораторий СССР. Прибор обладает той особенностью, что генерация электронов в нем производится импульсным напряжением. Это позволяет избежать вуалирования фотоэмальсией, не прибегая к специальным запирающим луч камерам, что необходимо в осциллографах с длительно включенным на катод напряжением.

При таком способе питания также облегчается конструкция разрядной трубки. На импульсных осциллографах системы автора были получены рекордные скорости записи, превышавшие $83\,000\text{ km/sec}$.

Во избежание введения фотоматериала в вакуум, можно производить фотографирование явления, регистрируемого лучом, на флуоресцирующем экране. При хорошей оптике [объектив светосилой 1:1 и чувствительной эмульсии (1000 X и Д)] можно этим способом достичь при ускоряющих напряжениях в 90—100 kV скорости записи $30\,000\text{ km/sec}$. Вследствие кратковременности приложения ускоряющий потенциал может быть увеличен по сравнению с тем, на который рассчитывается разрядная трубка, включаемая на постоянное напряжение.

Максимальные скорости записи были получены при ускоряющих напряжениях 60—120 kV. При таких напряжениях трудно превзойти чувствительность $\epsilon = (5 \div 10) \cdot 10^{-3}\text{ mm/V}$. Увеличения ϵ при сохранении достаточно мощных

электронных пучков различным исследователям удалось добиться применением специального типа узких разрядных трубок. При диаметре стеклянной трубки 8—10 mm и длине 50—70 mm удается получать скорости записи в несколько сот километров в секунду при чувствительности в 0,1—0,7 mm/V.

Запаянный осциллограф. Несмотря на все достижения вакуумной техники и совершенствование конструкций, необходимость введения фотоматериала в полость прибора и связанное с этим нарушение работы служат существенной помехой при эксплуатации катодных осциллографов. В связи с этим делались попытки создания запаянных осциллографов, в которых фотографирование производится без нарушения вакуума.

Первой моделью такого прибора является трубка Брауна (1897 г.). Регистрируемое явление при этой трубке наблюдается на флуоресцирующем экране, с которого оно может быть естественно сфотографировано.

Трубки, созданные Брауном, ввиду малой интенсивности катодного пучка, отсутствия способов его концентрации и неподходящих условий вакуума могли давать лишь ничтожные скорости записи, достаточные для наблюдения колебаний с частотой порядка 50 Hz.

Пройдя длинный путь развития, этот тип прибора достиг высокой степени совершенства. Однако, скорости записи остались все же сравнительно небольшими.

Например, конструкция Снего представляет собой стеклянную трубку длиной около 140 см, наполненную водородом⁵ при низком давлении. Катодный луч в ней генерируется напряжением до 50 kV и имеет двойную концентрацию магнитными линзами. Скорость записи этого осциллографа все же достигает лишь $1\,000\text{ km/sec}$ на флуоресцирующем экране. Таким образом, запаянный осциллограф с холодным катодом пока дает скорости записи, в 80 раз меньшие, чем при внутривакуумной регистрации, и в 30 раз меньшие, чем v_{\max} при фотографировании с флуоресцирующего экрана.

Контактная регистрация. Существуют еще два способа использования интенсивного пучка без введения фотоматериала в вакуум. При одном способе электроны луча выпускаются из вакуума в атмосферу через ленардово окно, где они воздействуют на фотоэмульсию, плотно прилегающую к фольге. Такие конструкции дали возможность получить скорости записи до $5\,000\text{ km/sec}$ при ускоряющем напряжении, равном 75 kV. Недостатком конструкций ленардова окна является его малая прочность, которая порождает трудность эксплуатации. Кроме того, стальная решетка, поддерживающая фольгу, имеет ячейку в 1 cm^2 , что ведет к разрывам⁶ линии записи.

⁴ Наибольшая скорость записи, полученная Роговским и его сотрудниками на осциллографе с длительно включенным катодным лучом, составляла $63\,000\text{ km/sec}$.

⁵ Заполнение водородом увеличивает яркость пишущего пятна и удлиняет жизнь катода.

⁶ Однако, в некоторых случаях разрывы могут быть использованы в качестве координатной сетки.

Другой способ основан на получении контактного изображения с флуоресцирующего экрана. Автору, например, удалось таким путем достичь скоростей записи в 25 000 km/sec. И при этом способе осциллограмма рассекается тонкими полосками, являющимися следами опорной решетки экрана, наносимого на очень тонкое стекло или целлулоид.

Осциллограф с горячим катодом. Получение катодного луча, пригодного для целей регистрации явлений, из накаливаемого катода возможно уже при напряжениях порядка сотен вольт.

Вследствие того, что процесс образования луча имеет чисто электронный характер, присутствие газа в осциллографе излишне, и приборы могут строиться запаянными.

Относительно низкое катодное напряжение и отсутствие насосов делает осциллограф с горячим катодом более портативным и дешевым, чем осциллограф с холодным катодом. Чувствительность к отклонениям луча у этого типа осциллографа весьма значительна и поэтому естественной областью его применения были низковольтные явления. При этом, конечно, скорость записи осциллографа с малым катодным напряжением невелика.

Первый осциллограф с горячим катодом был построен Венельтом (1905 г.). В течение 10—15 лет трубки с горячим катодом получили громадное распространение, преимущественно в качестве осцилоскопов, т. е. приборов, с помощью которых повторяющееся явление можно наблюдать на флуоресцирующем экране в виде неподвижного изображения.

Большая интенсивность электронного пучка при малых по сравнению с холодным катодом ускоряющих напряжениях и возможность фокусировки луча системой электростатических линз, расположенных вблизи катода, стимулировали усовершенствование осциллографов с горячим катодом с целью получения больших скоростей записи. Однако, именно использование катодной эмиссии и получение удовлетворительной фокусировки луча являлись камнем преткновения при создании практических конструкций. Решению названных задач был посвящен длинный ряд кропотливых исследований.

Большое число различных конструкций осциллографов, по существу, повторяли приборы с холодным катодом. Так были созданы осциллографы с внутривакуумным фотографированием, дающие скорости записи при катодных напряжениях до 60 kV, близкие к получавшимся с осциллографами с холодным катодом. Впереди все же была заманчивая перспектива перехода к запаянным осциллографам с внешним фотографированием. К этой цели были направлены усилия многих конструкторов. В последние годы в этом направлении достигнуты значительные успехи.

Вследствие хорошо разработанной электроно-оптической системы фокусировки катодного луча и благодаря громадному току эмиссии уже при ускоряющих напряжениях 20 kV удалось достичь скорости записи 50 000 km/sec [Л. 6—7].

Пределом дальнейшего повышения скорости записи в этом осциллографе является разрешающая способность отклоняющей системы луча. Автору удалось путем новой схемы включения этого осциллографа увеличить пределы его использования и поднять интенсивность записи на экране (см. ниже).

Достигнутые автором в результате названных работ скорости записи открывают путь к широчайшему применению запаянных осциллографов с горячим катодом в самых различных областях физики и техники.

Методы осциллографирования. Классификация. Схемы включения катодного осциллографа и управления его лучом зависят от характера возникновения изучаемых процессов. Сообразно с этим все явления могут быть разбиты на две группы.

Явление возникает по желанию экспериментатора. Например, разряд заряженного конденсатора на сопротивление, включение линий на напряжение и т. п.

Момент возникновения явления неизвестен. Например, появление перенапряжения атмосферного происхождения на линии передачи, грозовой разряд в молниеотвод.

В принципе получение осциллограммы сводится к тому, чтобы определенным образом синхронизировать момент начала движения луча от смещения по времени и от изучаемого явления. Одно чрезвычайно существенное обстоятельство налагает дополнительные условия на применяемые методы осциллографирования. Это обстоятельство сводится к тому, что катодный луч не должен действовать на светочувствительную эмульсию ни до начала осциллографирования, ни после него. Чтобы не допустить возможности порчи пластинки от указанной причины, разработаны различные схемы включения. По принципу действия все эти схемы могут быть разбиты на два вида.

Способ длительного включения. Напряжение на разрядную трубку включается на время, значительно более длительное, чем то, которое требуется для снятия осциллограммы, а катодный луч тем или иным способом отбрасывается за пределы пластинки (запирается).

Конструктивно запирающее луча может быть осуществлено рядом различных способов. Наиболее совершенно запирающее луча должно быть при съемке атмосферных явлений, где время ожидания может быть длительным.

Способ мгновенного или импульсного включения. Напряжение на разрядную трубку включается только на время, необходимое для осциллографирования.

Схемы, работающие на принципе длительного включения луча, могут быть разделены по принципу их действия на две группы.

Схемы регулируемые, в которых освобождение луча из запирающей его камеры и начало развертки по времени производятся по желанию экспериментатора.

Схемы автоматические — включение производится при помощи специальных реле.

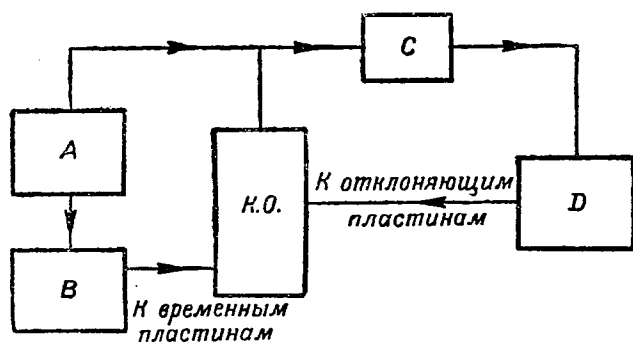


Рис. 1. Схема работы мгновенно действующего осциллографа для изучения произвольно вызываемого явления. А—установка, питающая разрядную трубку осциллографа; В—реле для включения цепи времени; С—реле для включения изучаемого контура; D—изучаемый контур.

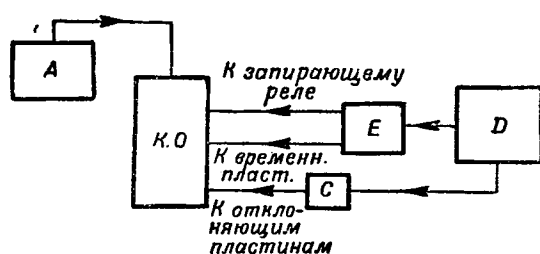


Рис. 2. Схема работы длительно действующего осциллографа при изучении произвольного явления. А—установка, питающая разрядную трубку осциллографа; D—изучаемый контур; Е—реле для включения цепей задерживающего реле и временного отклонения; С—цепь замедления изучаемого явления.

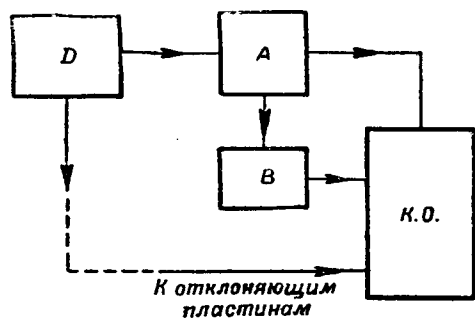


Рис. 3. Схема работы мгновенно действующего осциллографа при изучении внезапно возникающего явления. А—установка, питающая разрядную трубку осциллографа; В—реле для включения цепи времени; D—изучаемый контур.

Схемы мгновенного включения также могут быть разделены на две категории.

Неавтоматические или регулируемые схемы мгновенного действия, в которых включение напряжения, питающего разрядную трубку, производится каким-либо механическим способом.

Схемы автоматические или мгновенно действующие, в которых включение напряжения на разрядную трубку происходит при помощи электрического реле.

Разделение схем осциллографирования может быть иллюстрировано рис. 1 и 2. Контур А рис. 1 посылает одновременно импульсы на разрядную трубку катодного осциллографа К.О. и контуры С и В. Контур С возбуждает контур D, от которого напряжение подводится к отклоняющим пластинкам. В случае схемы рис. 2 контур А длительно включен на катодный осциллограф. При включении (произвольном) изучаемого контура D он через реле Е и С включает цепи осциллографа.

На рис. 3 и 4 изображены принципиальные схемы для изучения внезапно возникающих явлений. Останавливаться на описании многообразных реле, выполняющих роль синхронизаторов отдельных контуров, здесь невозможно⁷.

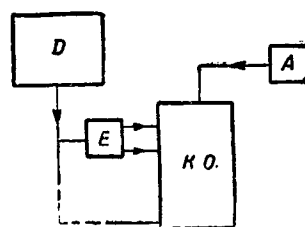


Рис. 4. Схема работы длительно действующего осциллографа при изучении внезапно возникающих явлений.

А—установка, питающая разрядную трубку осциллографа; Е—реле, включающее цепи задерживающего реле и времени; D—изучаемый контур.

Синхронизирующие элементы и реле. Работа схемы при осциллографировании требует производства включения отдельных своих элементов в определенной временной последовательности. Следует различать собственно включающие органы и механизмы, дающие возможность осуществлять определенную временную последовательность коммутации.

На рис. 5 показаны „включающие“ устройства. Напряжение на электродах А и В катодной

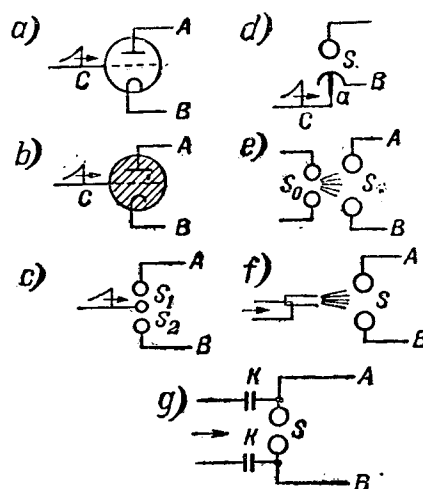


Рис. 5. Различные типы включающих устройств.

лампы а изменяется под воздействием потенциала сетки С. Изменение напряжения АВ контролируется импульсом и, вообще говоря, зависит от его формы. При желании сохранить

⁷ Подробное изложение затронутых вопросов [Л. 1].

полученную в первый момент величину напряжения U_{AB} , необходимо „запереть“ лампу, что чаще всего делается с помощью регенеративной схемы или так называемого киппреле.

Тиратрон b обладает способностью удерживать измененное сеткой напряжение U_{AB} независимо от дальнейшего изменения формы импульса.

Аналогично тиратрону действует схема трех-электродного реле, конструктивно оформляемого либо в виде трехшарового разрядника с промежутками S_1 и S_2 (с, рис. 5), либо по схеме d . На схеме d разряд в промежутке S возбуждается искрой, проскакивающей между стержнем a и полусферой, в вырез которой стержень входит.

Возбуждение разряда в искровом промежутке, а следовательно, и замыкание цепи, с которой он связан, осуществляется также с помощью светового импульса от вспомогательного искрового разряда в промежутке S_0 (е, рис. 5), от ионного пучка [например, применением газогенерирующих трубок стреляющих разрядников (f, рис. 5) или путем емкостной связи (g, рис. 5).

Для получения заданных условиями опыта интервалов времени между включениями отдельных элементов схемы применяются различные способы.

В тех случаях, когда интервалы времени τ между последовательными коммутациями не меньше долей миллисекунды, находят себе применение механические контакторы. При меньших τ , особенно начиная с области 10^{-5} сек., синхронизация осуществляется только электрическими методами, к которым относятся электронно-ламповые (дающие возможность изменять τ в пределах от 10^{-7} до долей секунды), ионно-ламповые схемы и искровой разряд в атмосфере.

Интервалы τ до 10^{-6} сек. очень удобно осуществлять с помощью отрезков кабелей или воздушных линий. Пример такого применения линий показан на рис. 6, а. Пробой в промежутке S (питание подводится к точкам $a'a'$) вызывает разряд конденсатора C на сопротивления R (что может быть использовано, например, для временной развертки катодного луча по экрану осциллографа) и разряд конденсаторов K на сопротивление R_0 и линию длиной l . Через время $\tau = \frac{l}{v}$ импульс напряжения дойдет до конца

с полным сопротивлением z , где он может быть использован для очередного включения или, например, для изучения движения волн в линии при подведении их к отклоняющим пластинам.

Скорость $v = \frac{3 \cdot 10^{10}}{\sqrt{\epsilon_{\mu}}}$ при движении волны в линии

принимается равной $3 \cdot 10^{10}$ см/сек (300 м/μ sec), а при распространении в кабеле — половине этой величины. Эта же схема может быть использована в случае осциллографирования произвольно возникающего явления, которое подводится к точкам bb' , и через конденсаторы K возбуждает разряд в S , тем самым пускает в ход временную развертку и через время τ подхо-

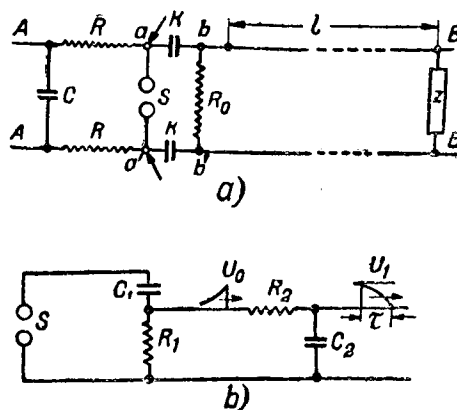


Рис. 6. Схема для получения определенных интервалов времени между двумя включениями.

дит к пластинам осциллографа. При этом луч на экране осциллографа существует время $\tau - \tau_0$, где τ_0 — запаздывание срабатывания искрового промежутка.

Элемент, часто используемый в различных схемах для получения определенного интервала времени между двумя коммутациями, изображен на рис. 6, б. Здесь импульс U_0 с крутым фронтом, образованный пробоем S , видоизменяется элементами R_2 , C_2 в волну с пологим фронтом U_1 . Плавный подъем напряжения может быть использован для включения одного из элементов, изображенных на рис. 5, через интервал τ , отсчет которого ведется от момента пробоя в S . С помощью описанного элемента имеется возможность получить сдвиги времени от $10^{-7} + 10^{-8}$ сек. до практически любых значений, могущих понадобиться при катодной осциллографии.

С целью исключения из схемы управления искровых промежутков рядом исследователей были разработаны устройства, в которых регулировка промежутка времени τ достигается электронными лампами. Такие реле позволяют получать τ в пределах от 10^{-6} до 10^{-2} сек.

Применения некоторых из этих устройств будут описаны ниже, в схемах, иллюстрирующих работу осциллографов.

Схемы включения осциллографов. Здесь можно не останавливаться на подробном рассмотрении конкретных схем включения осциллографов с холодным катодом, ибо они не получили существенных изменений в течение последних 5—6 лет. Напротив, схемы управления осциллографами с накаливаемым катодом в самое последнее время развивались параллельно новым конструкциям трубок. И лишь прогресс в обоих этих направлениях привел к возможности получения упомянутых больших скоростей записи.

Примером одной из современных схем катодного осциллографа может служить установка (рис. 7), описанная Халь и Кумбс [Л. 3]. В этой установке получила свое развитие более ранняя схема Куени и Рамо [Л. 4].

Осциллографирование начинается включением кнопки K , которое инициирует разряд конденсатора C_0 , заряженного до 200 В, на первичную

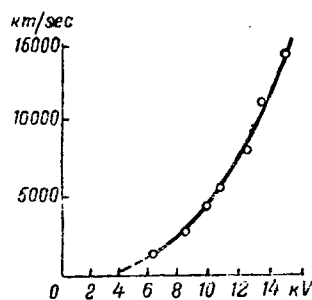


Рис. 8. Зависимость между максимальной скоростью записи и напряжением, ускоряющим луч.

вышением катодного напряжения занимались Катц и Вестендорф [Л. 5]. Экспериментируя с несколько видоизмененной трубкой конструкции Штеудель фирмы AEG, они нашли зависимость между этими двумя величинами, изображенную на рис. 8. Скорость записи определялась косвенным путем — осциллографированием одной и той же частоты с различными амплитудами при различной степени диафрагмирования. Осциллограммы авторами даны лишь для $f = 10$ MHz. Определение скорости относилось при этом к объективу со светосилой 1:1 и для пластинок Agfa — ISS.

Следует обратить внимание (рис. 8), что скорость быстро растет с увеличением U .

Зависимость на рис. 8 может быть удовлетворительно выражена уравнением

$$v_m = 7,28U^{2,8} [\text{km/sec}]. \quad (6)$$

При $U = 20$ kV находим, что $v_m \approx 45\,000$ km/sec.

Несколько позднее фирма AEG разработала трубки на напряжение 20 kV и получила осциллограммы со скоростями записи до 50 000 km/sec (объектив со светосилой 1:0,85).

Учитывая различие светосилы применявшихся объективов и чувствительности фотопленок, а также неодинаковую оценку степени зачернения осциллографической линии, можно считать, что формула (2) правильно отражает зависимость v_m от U при напряжениях, превосходящих 15 kV. Интересно отметить, что при $U = 40$ kV интенсивность пучка была бы достаточной для записи явления со скоростью $^8 230\,000$ km/sec.

При работе с этими осциллографами управление яркостью луча осуществлялось с помощью тиратрона по схеме рис. 9. В этой схеме импульс включения подается через конденсатор C_3 . Прямоугольный характер импульса, подаваемого на венельтов цилиндр, обусловлен применением газонаполненной трубки T_h и комбинации констант R_1, L_1, C_1 , подбор которых дает возможность согласовать длительность существования луча с временной его разверткой по экрану. Конденсатор C_1 служит для поддержания напряжения в случае преждевременного потухания

дится от специального высокочастотного генератора.

Куэни и Рамо смогли достичь с трубкой RCA = 912 при ускоряющем напряжении 15 kV максимальной скорости записи $v_m = 250$ km/sec, Халь и Кумбс получили с трубкой того же типа скорость 500 km/sec.

Исследование возможности форсировки скорости записи с по-

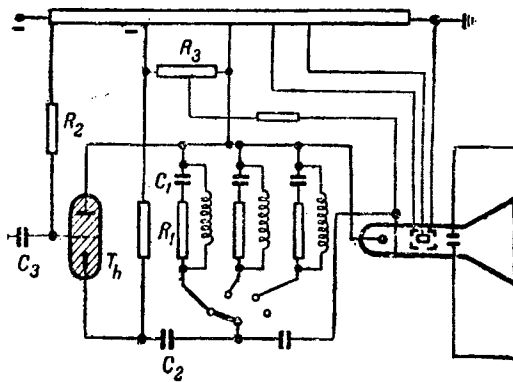


Рис. 9. Схема управления яркостью луча.

газонаполненной трубки T_h . Сопротивление R_1 обеспечивает быстрый подъем напряжения при зажигании T_h , тогда как индуктивностью L_1 обусловлен провал напряжения после окончания прямоугольного импульса. В этой схеме это обеспечено лучше, чем в случае применения омического сопротивления, ибо при индуктивности в противоположность омическому сопротивлению ток сначала равен нулю, а затем он возрастает до очень больших значений. Этим достигаются хорошие очертания открывающего луч импульса.

Конденсатор C_2 служит источником энергии схемы. Предварительный потенциал к цилиндру Венельта задается потенциометром R_3 . Временная развертка управляется пентодом и тремя газонаполненными трубками, что дает возможность получать равномерную развертку с полным временем пробега луча по экрану в 10^{-7} до $1,5 \cdot 10^{-8}$ sec.

Преследуя цель повысить скорости записи запаянных осциллографов с горячим катодом, работающих при нормальном анодном напряжении 6—7 kV, автор в 1943 г. применил принцип импульсного питания с перенапряжением катода электронно-оптической системы трубки [Л. 8]. В основу этого метода были положены следующие идеи.

1. Возможность увеличения напряжения на катоде больше нормального, что позволяет получить значительно более высокие скорости записи. Благодаря кратковременности приложения напряжения практическим его пределом является разряд между элементами конструкции. Как известно, отношение величины напряжения перекрытия изоляции при импульсах микросекундной длительности к величине перекрытия при постоянном напряжении достигает 1,5—2 и более. На основании формулы (6) можно заключить, что в связи с повышением напряжения можно достичь 3÷7-кратного выигрыша в скорости

$$\left(\frac{v_m(\text{имп})}{v_m(\text{пост})} = 3 \div 7 \right).$$

Таким образом, практически максимальная скорость записи всякой запаянной трубки с горячим катодом может быть увеличена рекомендуемым методом на 300—700%.

2. Упрощение схемы включения осциллографа и синхронизации отдельных включений, про-

⁸ Ниже будет показано, что действительно удалось получить скорости записи такого порядка.

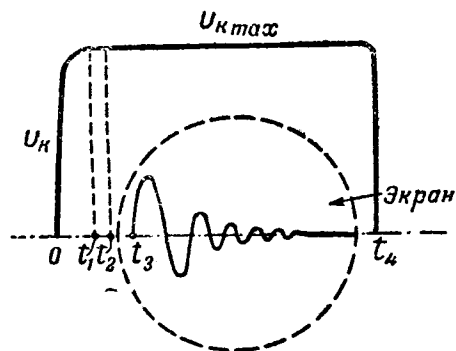


Рис. 10. Схема отдельных моментов управления лучом.

0 ÷ t_1 — формирование луча; t_2 — начало временной развертки; t_3 — включение изучаемого явления; t_4 — снятие катодного напряжения.

исходящих на высоком напряжении. При этом коммутации высоковольтных цепей могут осуществляться без помощи электронных и ионных ламп.

3. Увеличение разрешающей способности отклоняющей системы осциллографа, связанной с получением большей скорости электронов. Это соображение имеет особое значение для конструкции тех трубок, у которых пределом использования луча является собственное время пробега электронов в поле отклоняющих пластин.

Для регистрации произвольно вызываемого явления нужно произвести следующие операции: 1) подать на катод и электронно-оптическую систему трубки необходимые потенциалы; 2) после достижения лучом нормальной интенсивности дать смещающее напряжение на пластины времени; 3) вслед за появлением луча на флуоресцирующем экране подвести исследуемое напряжение к отклоняющим пластинам (ординатным); 4) после пробега лучом экрана по возможности быстро снять ускоряющее напряжение с катода — потушить луч.

Рис. 10 иллюстрирует схему синхронизации названных коммутаций. Здесь, в условной форме, совмещено пространственное движение луча по экрану с временной диаграммой последовательных включений.

Полная схема осциллографирования, разработанная автором, показана на рис. 11. Действие ее происходит следующим образом. Трансформатор T через кенотрон K и ограничительное сопротивление R заряжает конденсаторы C_0 , C_1 , C_2 и C_3 . Конденсаторы временной развертки C_6 получают питание от самостоятельного источника напряжения, подсоединенного к точкам AA . Нажатием кнопки P включается выпрямительная установка. Через некоторое время происходит пробой искрового промежутка S_0 и импульсы напряжения разряжающихся конденсаторов C_0 , C_2 , C_3 ложатся на сопротивления R_1 , R_2 и R_3 .

Импульс U_{R1} подводится к емкостно-омическому потенциометру осциллографа и распределяется по его электронно-оптической системе, в силу чего возникает фокусированный катодный луч, падающий за флуоресцирующий экран, благодаря смещающему напряжению, подводимому к временным пластинам через сопротивления R_8 и R_7 . Импульс U_{R2} через элементы деформации фронта волны, представляющих собой цепь емкости C_6 , заряжаемой через R_5 , действует на искровое реле S_2 , пробой которого сдвинут от пробоя в S_0 на время, регулируемое произведением $R_6 C_6$.

Пробой S_2 порождает сильную световую вспышку, которая инициирует разряд в искровом промежутке S_3 временной цепи, имеющей напряжение несколько ниже разрядного. Световая вспышка, сопровождающая этот разряд, возбуждает пробой в промежутке S_4 цепи явления.

Здесь, таким образом, находит свое применение комбинация искрового и светового реле, работа которых оказывается достаточно стабильной и в области времени порядка 10^{-7} — 10^{-8} сек. Пробой в S_3 вызывает разряд конденсаторов C_6 и появление на сопротивлении R_6 импульса напряжения U_{R6} с крутым фронтом (через блокировочные емкости C). Нарастающее на пластинках времени напряжение (заряд емкости пластин через сопротивления R_8) смещает

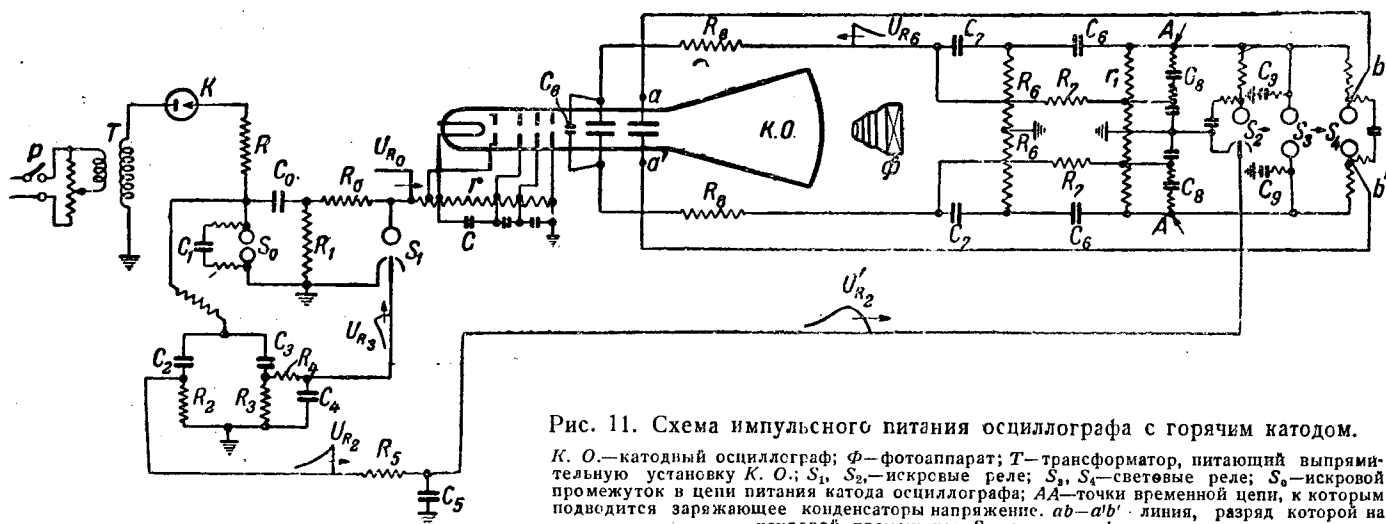


Рис. 11. Схема импульсного питания осциллографа с горячим катодом.

$K. O.$ — катодный осциллограф; Φ — фотоаппарат; T — трансформатор, питающий выпрямительную установку $K. O.$; S_1 , S_2 — искровые реле; S_3 , S_4 — световые реле; S_0 — искровой промежуток в цепи питания катода осциллографа; AA — точки временной цепи, к которым подводится заряжающее конденсаторы напряжение; ab — $a'b'$ — линия, разряд которой на искровой промежуток S_4 осциллографируется.

луч по экрану в положение, противоположное исходной позиции луча, а спадающее напряжение (хвост импульса) отклоняет его в обратное положение (за экран).

Эта особенность схемы может быть использована для получения на осциллограмме и регистрируемого явления и нулевой линии. При регистрации очень быстрых явлений луч может убираться с экрана до начала его обратного смещения во избежание излишнего вуалирования. Пробой S_1 вызывает включение исследуемого явления, в данном случае разряд короткой линии, $ab-a'b'$, подсоединенной к отклоняющим пластинам осциллографа (линия заряжается через сопротивление R_0 от источника AA). Деформированный импульс U_{R3} с помощью искрового реле вызывает разряд в промежутке S_1 и тем самым снимает напряжение с потенциометра и выключает луч. В результате соответствующего подбора электрических характеристик цепей устанавливается режим работы схемы, иллюстрируемый рис. 10.

На рис. 12—16 приведены осциллограммы, полученные путем фотографирования с экрана трубки типа 2066 А⁹.

На рис. 12,а показан процесс разряда линии, заряженной постоянным напряжением, зарегистрированный в схеме, изображенной на рис. 11. Линия представляла собой обычный шнур с сечением медной жилы 1 мм^2 , длиной 3,0 м. Время периода одного колебания равно $4 \cdot 10^{-8} \text{ sec}$. Съемка производилась с помощью объектива¹⁰ Astro со светосилой 1:0,95 на пленке с чувствительностью 4400 H и D. Напряжение на трубке при этих съемках равнялось 35—40 kV. Изображение на пленке делалось с уменьшением в 3,5 раза, а затем при перепечатке на бумагу увеличивалось до действительного изображения на экране осциллографа. Такая увеличенная фотография показана на рис. 12,б.

На рис. 13 приведен первый полупериод колебаний в шнуре длиной 3 м. Время фронта этой волны, представляющей собой собственно пробой промежутка с искровым расстоянием 0,3—0,4 мм, достигает $(1,5-2) \cdot 10^{-9} \text{ sec}$.

Четыре осциллограммы первого разрядного колебания в шнуре длиной 3,7 м, снятые на одну пленку (рис. 14) со сдвигом по оси ординат, иллюстрируют управляемость и стабильность работы схемы временной развертки.

На рис. 15,а, б показаны разрядные колебания линии длиной $l \approx 15 \text{ см}$, а на рис. 16 один период колебаний этой же линии.

Длительность пробега луча от начала экрана до его половины в случае осциллограммы на рис. 16 (определенная по параметрам электрической схемы) достигает $\tau = 20 \cdot 10^{-10} \text{ sec}$. (длина

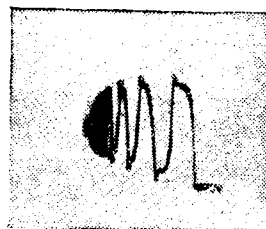


Рис. 12а. Разряд линии длиной 3 м.

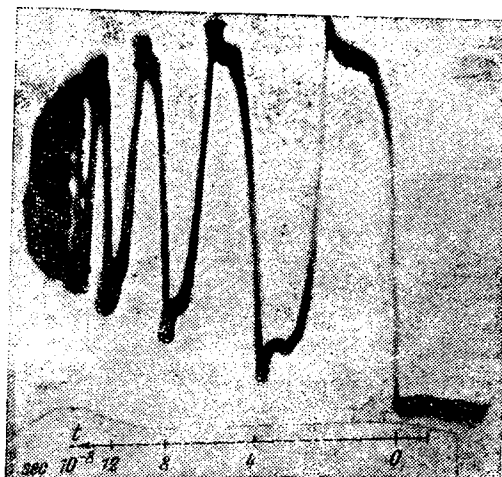


Рис. 12б. Разряд линии длиной 3 м.

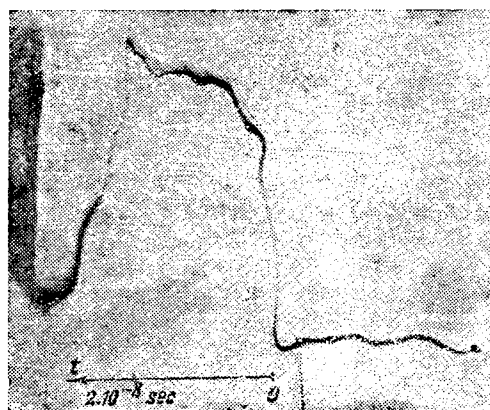


Рис. 13. Первый полупериод колебаний в шнуре длиной 3 м.



Рис. 14. Наложение на одну осциллограмму четырех различных колебаний в шнуре длиной 3,7 м.

⁹ В проведении экспериментов участвовала В. В. Межуева.

¹⁰ Объектив любезно предоставлен Л. В. Курносовой.

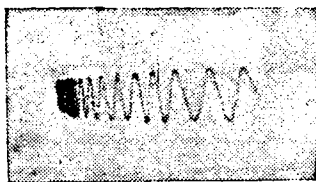


Рис. 15а. Разрядные колебания в линии длиной $l = 1^{\text{см}}$.

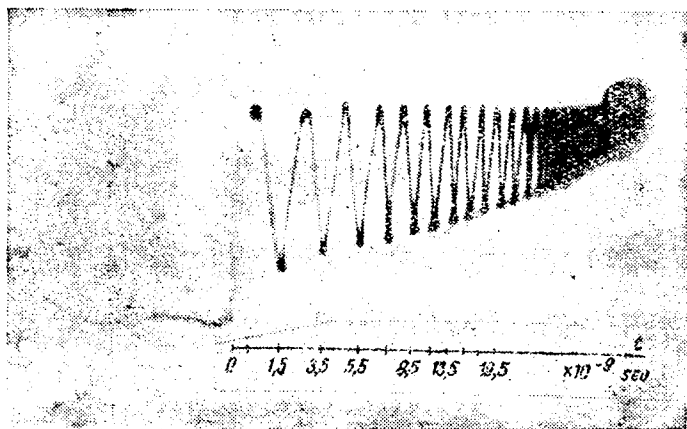


Рис. 15б. Разрядные колебания в линии длиной $l = 15^{\text{см}}$.

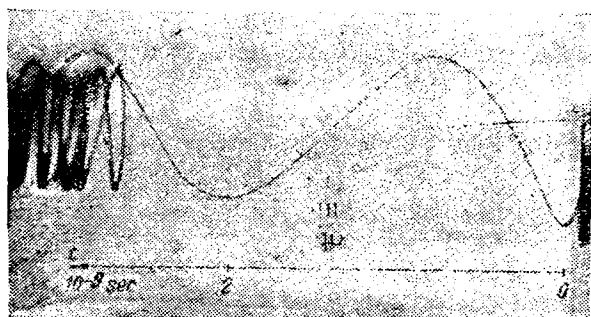


Рис. 16а. Разрядные колебания в линии длиной $l = 15^{\text{см}}$.

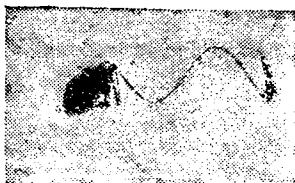


Рис. 16б. Разрядные колебания в линии длиной $l = 15^{\text{см}}$.

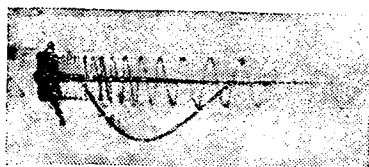


Рис. 17. Осциллограмма тока от генератора больших токов.

пробега 6 см). Длительность полупериода разряда отрезка линии длиной $l = 15^{\text{см}}$ по соотношению

$$T = \frac{2 \cdot 15}{3 \cdot 10^{10}} \text{ равна } 10 \cdot 10^{-11} \text{ сек.}$$

Максимальная скорость записи на фотографии, оцениваемая по осциллограмме 16, достигает $50\,000 \text{ km/sec}$. Первый период колебания в линии $l = 15^{\text{см}}$ дал по рис. 15,б скорость записи около $100\,000 \text{ km/sec}$. Осциллографирование, произведенное через диафрагмированный объектив, показало, что полученной интенсивности катодного пятна достаточно для записи с максимальной (приведенной к нормальным условиям съемки) скоростью, равной $200\,000 \text{ km/sec}$, что значительно превышает ранее достигнутые результаты. Таким образом, практически достигнут предел использования теоретически разрешающей способности осциллографа при $U = 40 \text{ kV}$, определенный выше.

С целью демонстрации применимости запаянного осциллографа к изучению высоковольтных явлений приводим осциллограмму (рис. 17) тока, полученную от импульсного генератора, заряженного до 50 kV . Максимальный ток первой полуволны достигал 350 kA . На осциллограмму наложены градуировочные колебания с частотой 660 kHz . Как видно, последовательность включения отдельных элементов схемы при осциллографировании такова, что перед началом нарастания тока виден участок нулевой линии. Напряжение к отклоняющим пластинам подводится от цилиндрического безиндуктивного шунта. Схема включения и шунт, построенный на токи до 500 kA , описаны в другой работе [Л. 9]. Резюмируя, можно отметить, что запаянный осциллограф с горячим катодом превзошел осциллограф с холодным катодом, достиг высокой степени совершенства и при умелом использовании мощности электронного луча имеется возможность исследовать процессы, время которых соизмеримо с величиной t_n (около $2,5 \times 10^{-10} \text{ sec}$).

Литература

1. И. С. Стекольников. Катодный осциллограф. Гос. изд-во, 1934.
2. J. H. Harries. Wireless Engineer, v. 21, p. 267, № 249, 1944; H. Klemperer, O. Wolff. Archiv f. Elektr., S. 495, B. 26, 1932.
3. A. C. Hall and J. M. Coombs. The Review of Scientific Instruments, p. 314, v. 11, October 1940.
4. H. P. Kuchni and Ramo. Elec. Eng., p. 721, June 1937.
5. H. Katz und E. Westendorf. Zeitschr. f. Techn. Physik, S. 209, № 7, 1939.
6. H. Pieplow. Archiv f. Elektr., № 6, 1941.
7. H. Ganswindt. Zeitschr. f. Techn. Physik, S. 209, № 7, 1939.
8. И. С. Стекольников. Импульсное питание запаянного осциллографа, Электричество, стр. 27, № 11—12, 1911.
9. И. С. Стекольников. Доклады Академии наук СССР, т. 52, № 5, 1913.
10. И. С. Стекольников. Молния. Издательство Академии наук С. С. Р., 1940.



Магнитные свойства холоднокатаной трансформаторной стали

Инж. А. Л. ГОЛЬДМАН и инж. В. В. ДРУЖИНИН

Верх-Исетский металлургический завод

Введение. Кремнистая трансформаторная сталь, разработанная Гадфильдом и Гумлихом, получила промышленное развитие в 1905 г.

Благодаря высокому удельному сопротивлению и хорошим магнитным свойствам по сравнению с углеродистой сталью введение кремнистой стали снизило потери вдвое и позволило обеспечить работу трансформаторов с более высокой индукцией, что привело к значительному уменьшению габаритных размеров трансформаторов. Листовая кремнистая сталь горячей прокатки до настоящего времени является основным материалом для сердечников трансформаторов.

За последующие сорок лет в различных странах проводились широкие исследовательские работы по повышению качества первоначального сплава Гадфильда. За счет усовершенствования и тщательности проведения металлургических процессов выплавки, прокатки и термообработки и доведения в готовых листах количества вредных для магнитных свойств примесей до минимальных пределов, в частности углерода до 0,008—0,010% и серы до 0,004%, а также получения крупнозернистой структуры с разноосными зернами в горячекатаной трансформаторной стали массового производства удалось снизить потери в 1,5 раза и повысить максимальную проницаемость в 2 раза. Однако, магнитную проницаемость в сильных полях, в частности при 25 АВ/см, в горячекатаной стали, улучшить не удалось, и как показали наши работы, а также американские и германские данные, при специальной термической обработке трансформаторной горячекатаной стали, доводящей потери (P_{10}) до величины ниже 1,0 Вт/кг и значительно повышающей магнитную проницаемость в слабых полях, индукция B_{25} при 25 АВ/см даже несколько снижается, что уменьшает эффективность применения такой стали для силовых трансформаторов.

За последние 15 лет стало известно, что кристаллы железосилицистого сплава, как и углеродистого железа, магнитно анизотропны, т. е. их магнитные свойства не одинаковы в различных

Излагаются результаты работ Верх-Исетского завода по изготовлению холоднокатаной кремнистой стали для магнитопроводов трансформаторов. Эта сталь имеет повышенные магнитные свойства и ее применение дает возможность значительно снизить удельные потери электроэнергии и уменьшить габаритные размеры магнитопроводов. Большое значение применения холоднокатаной стали в трансформаторостроении было отмечено также в материалах, посвященных проблеме расхода металла и снижения потерь электроэнергии в электрохозяйстве СССР (Электричество, № 6, 1946).

кристаллографических направлениях, причем ось ребра куба является направлением наибольшей магнитной проницаемости и наименьшей коэрцитивной силы. В связи с этим металлурги в последние годы упорно работали над изысканием метода обработки кремнистой стали,

который позволил бы большую часть кристаллических зерен, ориентировать ребрами куба в направлении; параллельном прохождению магнитного потока. Такой метод обработки путем чередования холодных обжатий и специальных термических обработок был найден в последние годы.

Первые производственные партии холоднокатаной трансформаторной стали были изготовлены в Америке Госсом и фирмами Армко и Вестингауз. Опытные трансформаторы были там изготовлены 10 лет назад, но только в последние 5 лет изготовление этой стали, а также применение ее для постройки трансформаторов были полностью разработаны и внедрены в производственном масштабе.

Американская холоднокатаная текстурованная трансформаторная сталь («гайперсил») обладает исключительно высокими свойствами вдоль направления прокатки. Потери у этой стали примерно в 1,5 раза меньше, чем у лучших сортов современной горячекатаной стали. Магнитная индукция B_{25} на 20—30% больше, чем у лучшего стандартного горячекатаного листового материала. Это позволяет соответственно уменьшить сечение сердечника. В отношении старения гайперсил не уступает обычной кремнистой стали. Явления магнитострикции, т. е. изменения размеров при перемагничивании кремнистой стали, вызывающие вибрацию в сердечнике и гудение трансформатора, в холоднокатаной стали значительно ослаблены.

Таким образом, холоднокатаная трансформаторная сталь является более совершенным материалом для трансформаторостроения, чем сталь горячей прокатки.

Высокие магнитные свойства в холоднокатаной стали достигаются вдоль направления про-

катки, в то время как поперек этого направления они значительно хуже. Поэтому для использования свойств этой стали необходима особая конструкция трансформаторов, в которых магнитный поток шел бы вдоль направления прокатки листа.

С этой целью были разработаны специальные конструкции ленточных трансформаторов типа «спирокор», в которых избегается направление магнитного потока поперек направления прокатки.

В последнее время фирмой Вестингауз при изготовлении из холоднокатаной стали штампованных пластин для сборки сердечников трансформаторов штампуют их в стыках под углом 45° . Таким образом, холоднокатаная сталь сейчас применяется в трансформаторах всех типов, начиная от самых малых радиотрансформаторов и кончая крупными силовыми трансформаторами. Недавно в США был изготовлен трехфазный трансформатор на 75 000 kVA с сердечником из холоднокатаной стали гайперсил.

Данные технологии производства и даже численные данные о свойствах этой стали американскими фирмами засекречены.

В последней статье Иенсена о гайперсиле (Journal of Applied Physics, № 7, июль 1945) приводится ряд диаграмм, характеризующих соотношение магнитных свойств холоднокатаной и горячекатаной стали, однако численные данные о магнитных свойствах холоднокатаной стали совершенно отсутствуют.

Министерство черной металлургии в 1945 г. поручило Верх-Исетскому заводу разработать технологический процесс изготовления холоднокатаной трансформаторной стали с повышенными магнитными свойствами.

После окончания лабораторных работ, проводившихся инж. А. Л. Гольдман, Чернобровкиной и Гробман, коллективом Верх-Исетского и Нижне-Тагильского металлургического заводов была выпущена первая опытная партия холоднокатаной трансформаторной стали в заводских условиях.

Изучение свойств этой стали проводилось канд. техн. наук Б. Б. Гельпериным на Московском трансформаторном заводе им. Куйбышева, инж. Юдиной на заводе «Уралэлектрораппарат», а также Центральной заводской лабораторией Верх-Исетского завода.

В данной статье сообщаются основные свойства холоднокатаной стали ХПВ ВИЗ (холоднокатаная высокопроницаемая Верх-Исетского завода).

Удельные потери и магнитная индукция в сильных полях. Большая часть трансформаторной стали идет на изготовление силовых трансформаторов. Удельные потери при индукциях 10—15 kG и магнитная индукция при 25 ÷ 300 AW/cm являются основными характеристиками, предъявляемыми к этой стали существующим стандартом.

В опытной партии холоднокатаной стали, изготовленной в заводских условиях, удельные

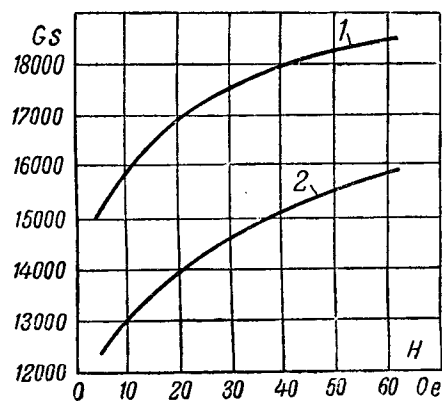


Рис. 1.

потери P_{10} при 10 kG и частоте 50 Hz получались в 1,5 раза меньше, чем в лучших партиях горячекатаной стали с 4% кремния и в 2 раза меньше, чем в стали с 3% кремния; магнитная индукция B_{25} при 25 AW/cm на 2500—3000 G превышает B_{25} горячекатаной стали (см. ниже-следующую сводку):

	Холоднокатаная трансформаторная сталь 0,35 mm с 3% Si	Горячекатаная трансформаторная сталь 0,35 mm с 4% Si	Горячекатаная трансформаторная сталь 0,35 mm с 3% Si
P_{10} в W/kg	0,8	1,2	1,6
B_{25} в G	17 400—18 500	14 600	14 700

Лучшие образцы этой заводской партии дали $P_{10}=0,71$ W/kg, $B_{25}=17\,800$ G.

В лабораторных условиях лучшие пробы холоднокатаной стали показали:

$P_{10}=0,6 \div 0,7$ W/kg и $B_{25}=18\,200 \div 18\,500$ G.

Московский трансформаторный завод, где из этой партии изготавливаются опытные трансформаторы, получил $P_{10}=0,78 \div 0,80$ W/kg, $P_{15}=1,80 \div 1,87$ W/kg и $B_{25}=17\,200 \div 17\,600$ G.

При изменении удельных потерь от 0,7 до 0,9 W/kg магнитная индукция B_{25} не спускается ниже 17 kG. На рис. 1 представлены кривые намагничивания (для напряженности поля от 5 до 60 Oe) холоднокатаной стали со средними свойствами (кривая 1) и горячекатаной стали (кривая 2).

Статическая петля гистерезиса, потери на токи Фуко и коэрцитивная сила. Так как потери на токи Фуко вдоль направления прокатки остаются почти такого же порядка, как и для горячекатаной стали с 3% Si, то снижение потерь идет за счет уменьшения потерь на гистерезис.

На рис. 2 представлены статические петли гистерезиса для холоднокатаной стали с $P_{10}=0,7$ W/kg (кривая 1), горячекатаной стали с 4% кремния и $P_{10}=1,2$ W/kg (кривая 2) и горячекатаной стали с 4% кремния и $P_{10}=1,5$ W/kg (кривая 3). Площадь петли гистерезиса 1 в 2,5 раза меньше площади петли 2 и в 3,5 раза меньше площади петли 3; коэрцитивная сила меньше соответственно в 2,5 и 3 раза. У исследуемой первой опытной партии коэрцитивная сила по-

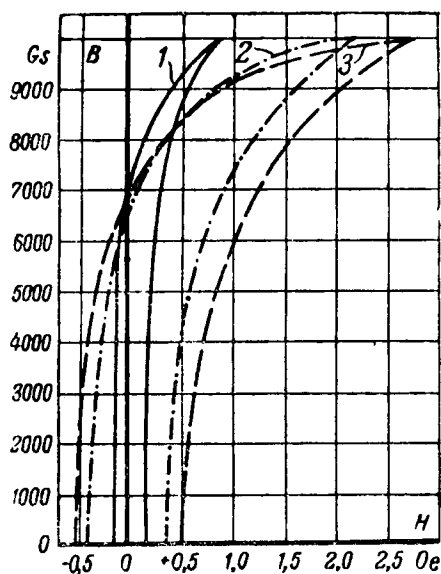


Рис. 2.

лучилась для лучших образцов 0,12—0,16 и для худших 0,3 Ое, тогда как для горячекатаной стали с $P_{10}=1,20$ W/kg она составляет 0,40—0,45 Ое. Для стали толщиной 0,35 mm с 3% кремния потери на токи Фуко при индукции 10 kG и частоте 50 Hz определяются в 0,25—0,30 W/kg. Для горячекатаной стали с 3% Si и $P_{10}=1,6$ W/kg потери на токи Фуко составляют до 20%, а для холоднокатаной стали ($P_{10}=0,7$ W/kg) они достигают 50% от суммарных потерь P_{10} .

Магнитная индукция для слабых полей. В полученном материале кривые намагничивания не только для сильных полей, но и в области слабых полей (до 0,2 Ое) идут значительно выше кривых намагничивания горячекатаной стали. На рис. 3 даны кривые намагничивания в слабых полях: 1—лучший образец опытной партии холоднокатаной стали ВИЗ; 2—худший образец той же партии; 3—образец горячекатаной стали лучшей марки ВИЗ. На рис. 4 приведены значения индукции при 0,05 AW/cm ($B_{0,05}$) в пробах, имеющих различные удельные потери P_{10} (кривая 1—опытная партия холоднокатаной стали ВИЗ; 2—горячекатаная сталь ВИЗ).

Для холоднокатаной стали с удельными потерями 0,7—0,85 W/kg значение $B_{0,05}$ колеблется в пределах 700—500 G, что в 7—5 раз выше средних значений горячекатаной стали. Улучшение начальной проницаемости менее значительно, чем для $B_{0,05}$. Лучшие образцы опытной партии дали начальную проницаемость 700 G/Oe, т. е. в 2 раза больше, чем у горячекатаной стали среднего качества. Максимальная проницаемость для лучших образцов с потерями 0,7 W/kg достигает 20 000 G/Oe, а для образцов с 0,9 W/kg она снижается до 10 000 G/Oe, почти приближаясь к значениям максимальной проницаемости лучших образцов горячекатаной стали.

Снятие кривой намагничивания приводилось в замкнутой магнитной цепи с помощью бал-

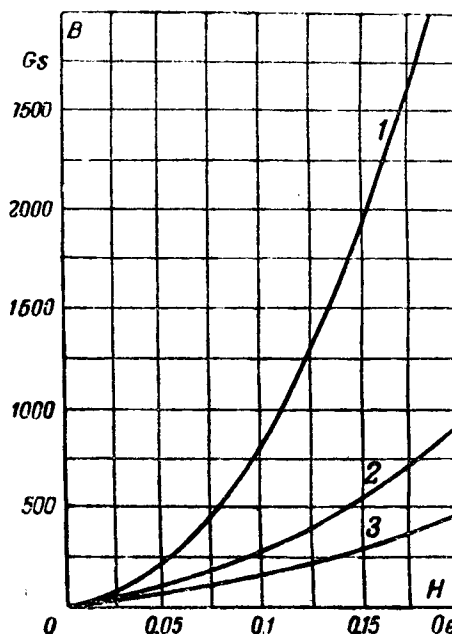


Рис. 3.

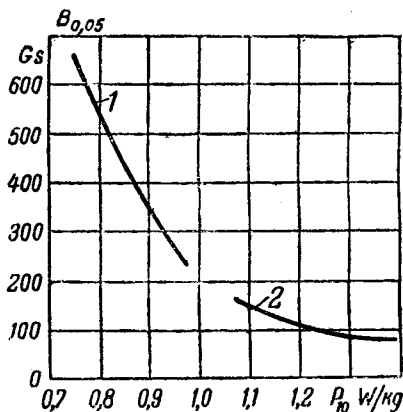


Рис. 4.

листического гальванометра. У некоторых образцов кривые намагничивания снимались на переменном токе потенциометром Гейгера. В области 500—5000 G кривые намагничивания, снятые на переменном токе, идут несколько ниже кривых, снятых на постоянном токе.

Анизотропия магнитных свойств. Указанные выше свойства холоднокатаной стали опытной партии ВИЗ сняты в направлении проката. Как уже говорилось выше, холоднокатаная трансформаторная сталь обладает резкой анизотропией магнитных свойств. Если в горячекатаной стали анизотропия не превышает 10—15%, то в холоднокатаной стали она оценивается десятками и сотнями процентов. Анизотропия удельных потерь (P_{10}) представлена на рис. 5 (кривые 1 и 2—холоднокатаная, 3—горячекатаная сталь ВИЗ), а анизотропия индукции в сильных и слабых полях (B_{25} и $B_{0,05}$) на рис. 6. На этих двух рисунках по оси абсцисс отложен угол между направлением намагничивания и направлением проката.

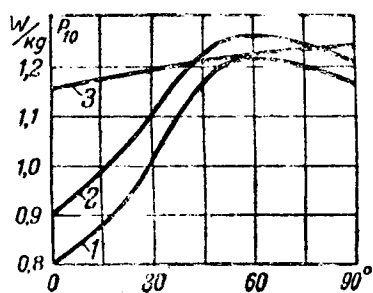


Рис. 5.

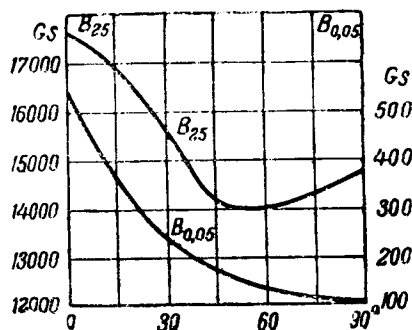


Рис. 6.

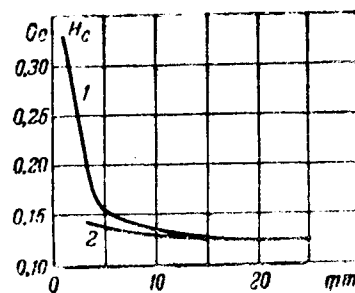


Рис. 7.

Представляет интерес сравнение некоторых данных статьи Иенсена для американских сталей с данными для сталей ВИЗ. Так, наихудшие магнитные свойства у гайперсила по удельным потерям и индукции при напряженности магнитного поля 10 Ое и выше получаются под углом 55° к направлению проката; тот же результат был получен и для опытной партии ВИЗ. Это указывает на одинаковый характер текстуры этих сталей.

Магнитная индукция B_{25} у американского гайперсила составляет 116% от индукции B_{25} горячекатаной стали. В опытной партии нашей холоднокатаной стали для разных проб соответствующее значение колеблется от 112 до 120%. По Иенсену P_{10} вдоль проката составляет 64% от потерь горячекатаной стали; для лучших проб нашей стали соответствующее отношение равно 58%.

Анизотропия потерь для опытной партии ВИЗ получилась менее резкая, чем для гайперсила. Если у гайперсила потери P_{10} под углом 60° в 2,3 раза больше потерь вдоль направления проката, то в нашей стали они больше только в 1,5 раза. Характер анизотропии индукции нашей стали такой же, как и гайперсила. В слабых полях наихудшие свойства как американской, так и нашей стали получаются под углом 90° к направлению проката, в полях от 5 Ое и выше — под углом в 55° к направлению проката.

Как и Иенсеном, нами замечена анизотропия потерь на точки Фуко, причем наименьшее значение их получается вдоль направления проката.

Влияние наклепа на магнитные характеристики. При изготовлении из трансформаторной стали магнитопроводов она подвергается действию наклепа от резки, штамповки, свертывания в ленточные сердечники и т. д. Важно, чтобы после отжига готовых деталей их магнитные свойства могли быть восстановлены. По нашим первоначальным данным такое восстановление полностью, или почти полностью, возможно. Были проделаны следующие опыты:

а) Полоски с известной коэрцитивной силой H_c были пропущены через дрессировочный стан, что дало обжатие 1—2%. После повторного определения коэрцитивной силы образцы были

отожжены при температуре 750° С в течение 2 ч и снова была определена коэрцитивная сила.

Результаты испытаний представлены в следующей сводке:

Направление	H_c до дрессировки, Ое	H_c после дрессировки, Ое	H_c после отжига, Ое
Вдоль проката . .	0,26	0,84	0,21
Поперек проката	0,40	1,02	0,45

б) Полоски разной ширины: 3; 5; 15 и 30 мм, нарезанные ножницами, были подвергнуты повторному отжигу. Коэрцитивная сила определялась до и после снятия наклепа; полученные значения H_c в функции ширины представлены на рис. 7 (кривая 1 до отжига, 2 — после отжига).

Вопросом восстановления магнитных свойств в свернутых из холоднокатаного листа ленточных сердечниках занимался Московский трансформаторный завод им. Куйбышева. После отжига ленточных сердечников их магнитные свойства восстанавливались до свойств в листовом материале.

Отметим также, что коэффициент заполнения холоднокатаной трансформаторной стали толщиной 0,25 мм получается значительно выше и составляет 98% против 87—92% для горячекатаной стали.

Выводы. 1. Холоднокатаная трансформаторная сталь вдоль направления проката обладает исключительно высокими свойствами:

а) Удельные потери в 1,5 раза меньше, чем в горячекатаной кремнистой стали.

б) Индукция B_{25} составляет 17 000—18 500 Г против 14 400—14 800 в горячекатаной стали.

в) Коэрцитивная сила холоднокатаной стали в 2—4 раза меньше коэрцитивной силы горячекатаной стали.

г) Индукция в слабых полях холоднокатаной стали ($B_{0,05}$) в несколько раз больше, чем в горячекатаной стали.

2. Необходимо продолжать изучение оптимальных условий применения этой стали и обеспечить внедрение ее в электропромышленность.



Индукционные машины с разомкнутым магнитопроводом

Доктор техн. наук, проф. Г. И. ШТУРМАН

Харьковский электротехнический институт

Вопрос непосредственного привода поступательно движущихся механизмов асинхронными двигателями неоднократно служил предметом исследований, проводившихся в Союзе и за границей [Л. 1—3]. С этой практической задачей связано возникновение идеи о модификации обычной трехфазной индукционной машины, заключающейся в разворачивании статора в плоскость. Такое конструктивное оформление получало иногда наименование «магнитопроводного» асинхронного двигателя. Аналогичное мероприятие нашло свое применение в более общем направлении решения вопроса о сращивании асинхронных машин с производственными механизмами. Идея «дугового статора» [Л. 4] в безредукторном электроприводе также базируется на разворачивании нормально исполненного статора индукционной машины в дугу большого диаметра.

Магнитная система обычной асинхронной машины, как известно, состоит в основном из двух полых цилиндров *A* и *B*, представляющих собой железо статора и ротора (рис. 1, *a*). Характерной особенностью двигателей с дугowymi и плоскими статорами является отсутствие в некоторой зоне (например, *C* на рис. 1, *b*) стенки одного из цилиндров. Последнее необходимо при развороте статора в дугу увеличенного диаметра. Таким образом, рассматриваемые принципы конструктивного оформления асинхронных двигателей связаны с фактом размыкания нормальной магнитной цепи индукционной машины.

Второй существенной особенностью двигателей подобного рода является невозможность

Формулированы основные положения теории индукционных машин с разомкнутым магнитопроводом, дающей количественную оценку электромеханических свойств и технико-экономических показателей асинхронных двигателей с дугowymi и плоскими статорами. Рассматривается вопрос, связанный с условиями возбуждения полей при размыкании магнитной цепи. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие найденные закономерности.

одновременного использования всех электрических контуров, расположенных на движущейся части машины. Кроме того, при поступательном перемещении бегуна магнитопроводного двигателя или

вращении ротора в безредукторном электроприводе состав вторичных цепей, индуктивно связанных с обмоткой статора, оказывается переменным. Вследствие этого стационарный режим работы индукционных двигателей с разомкнутым магнитопроводом органически сочетается с наличием переходных процессов во вторичных контурах, непрерывно входящих в область активной зоны машины, и аналогичных контурах, одновременно эту зону покидающих. Явления столь своеобразной «коммутации», как известно, не имеют места в обычных асинхронных двигателях.

Последствия указанных обстоятельств должны, естественно, найти свое проявление в общих электромагнитных процессах и энергетических соотношениях, характеризующих рабочие режимы машин с дугowymi и плоскими статорами.

Затруднения на пути обобщенного анализа режимов работы заключаются по существу в наличии двух отмеченных выше обстоятельств. Первое из них непосредственно связано с фактом своеобразного выполнения магнитной системы и требует аналитического и экспериментального исследований магнитных полей, возбуждаемых токами активной зоны. Этот вопрос естественно отнести к режиму идеального холостого хода, т. е. к условиям полного отсутствия вторичных токов машины. Схемы обмоток сегментных статоров не вносят каких-либо отличий в условия пространственного распределения намагничивающих токов первичной цепи. Специфические ограничения проводимости отдельных участков магнитопровода находят свое отражение в характере магнитных полей, возбуждаемых указанными токами. Если при этом принять обычные допущения об отсутствии высших гармонических в кривой м. д. с., то задача сводится к определению индукций междужелезного про-

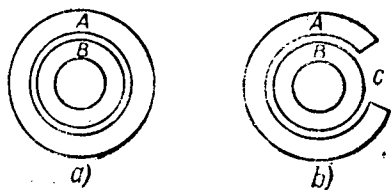


Рис. 1.

странства и ярма машины при синусоидальной волне токов активной зоны статора. Такая постановка вопроса практически исключает возможности использования известных результатов решения аналогичных задач для обычных систем в качестве исходных предпосылок теории индукционных машин с разомкнутым магнитопроводом. Синусоидальный характер распределения индукций в нормальных машинах является лишь частным случаем решения более общей задачи об исследовании полей, возникающих в условиях размыкания ярма на одном из участков магнитной цепи асинхронного двигателя.

Искомые выражения, характеризующие во времени и по месту распределение индукций в междужелезном пространстве машины, имеют следующий вид (вывод формул приведен в приложении 1):

$$B = \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y\right) + C_1 e^{\beta y} + C_2 e^{-\beta y} =$$

$$= \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\pi}{\tau} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y\right) \mp \right.$$

$$\left. \mp \frac{\pi}{\tau} \frac{\operatorname{sh} \beta Y}{\operatorname{sh} \beta (Y + p\tau)} \sin \omega t \cdot \operatorname{ch} \beta y \mp \right.$$

$$\left. \mp \beta \frac{\operatorname{ch} \beta Y}{\operatorname{ch} \beta (Y + p\tau)} \cos \omega t \cdot \operatorname{sh} \beta y \right], \quad (22)$$

$$B_a = 2C_3 \operatorname{ch} \beta y_1 = \pm \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\pi}{\tau} \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{sh} \beta (Y + p\tau)} \sin \omega t + \right.$$

$$\left. + \beta \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{ch} \beta (Y + p\tau)} \cos \omega t \right] \operatorname{ch} \beta y_1. \quad (23)$$

$$B_n = 2C_5 \operatorname{ch} \beta y_2 = \pm \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\pi}{\tau} \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{sh} \beta (Y + p\tau)} \sin \omega t - \right.$$

$$\left. - \beta \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{ch} \beta (Y + p\tau)} \cos \omega t \right] \operatorname{ch} \beta y_2. \quad (24)$$

Использование (22), (23) и (24) позволяет установить величины потоков в различных сечениях ярма рассматриваемой магнитной системы для любого момента времени:

$$\Phi_{aa} = \pm \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\pi}{\tau \beta} \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{sh} \beta (Y + p\tau)} \sin \omega t + \right.$$

$$\left. + \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{ch} \beta (Y + p\tau)} \cos \omega t \right] \operatorname{sh} \beta y_1, \quad (25)$$

$$\Phi_{an} = \mp \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\pi}{\tau \beta} \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{sh} \beta (Y + p\tau)} \sin \omega t - \right.$$

$$\left. - \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{ch} \beta (Y + p\tau)} \cos \omega t \right] \operatorname{sh} \beta y_2, \quad (26)$$

$$\Phi_n = \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y\right) \mp \right.$$

$$\left. \mp \frac{\pi}{\tau \beta} \frac{\operatorname{sh} \beta Y}{\operatorname{sh} \beta (Y + p\tau)} \sin \omega t \operatorname{sh} \beta y \mp \right.$$

$$\left. \mp \frac{\operatorname{ch} \beta Y}{\operatorname{ch} \beta (Y + p\tau)} \cos \omega t \operatorname{ch} \beta y \right]. \quad (27)$$

Уравнения (22) — (24) совместно с (25) — (27) дают возможность построения для каждого из промежутков времени картины распределения силовых линий магнитных полей машины. Таким образом, установлены количественные связи, определяющие своеобразие условий возбуждения разомкнутой магнитной системы. Для нормальной асинхронной машины изложенные выше исходные предпосылки должны, как известно, привести к появлению в междужелезном пространстве бегущей синусоидальной волны индукций. Размыкание ярма согласно (22) приводит к образованию помимо бегущей волны двух дополнительных пульсирующих во времени магнитных полей. Первое из них, распределяющееся по закону гиперболического косинуса, обусловлено явлениями шунтирования междужелезного пространства машины.

Действительно, при отсутствии принятых условий шунтирования, т. е. при $Y = 0$, второй член суммы уравнения (22) пропадает.

Второе из дополнительных пульсирующих полей определится учетом относительной проницаемости ярма магнитной системы. При бесконечно большой проницаемости, т. е. $\beta = 0$, поле, распределенное по закону гиперболического синуса, также исчезает. Таким образом, отсутствие магнитных сопротивлений железа и условий шунтирования должны привести к положению, в котором индукции междужелезного пространства не претерпевают изменений при размыкании магнитной системы. Но уравнение (27) при $Y = 0$ и $\beta = 0$ приобретает вид:

$$\Phi_n = \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\tau^2}{\pi^2} \left[\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y\right) \mp \cos \omega t \right]. \quad (27')$$

Последнее уравнение позволяет выделить два характерных момента в процессе возбуждения разомкнутого магнитопровода бегущей волной токов.

Первый из них, соответствующий $t = \frac{T}{4}$ и $t = \frac{3T}{4}$, имеет место при таком расположении синусоидальной кривой распределения токов, когда нулевые значения оказываются посредине

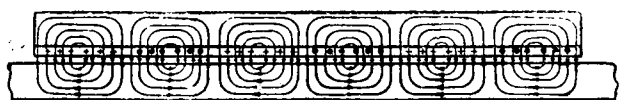


Рис. 2.

и на краях дугового или плоского статора. В этом случае второй член суммы (27) исчезает и характер распределения потоков в различных сечениях ярма соответствует обычному положению для ненасыщенных асинхронных машин. Эскиз силовых линий магнитного поля и характеризующих его синусоидальных кривых иллюстрирует на рис. 2 применение уравнения (27') к шестиполусной системе для указанного момента времени. Отсутствие каких-либо изменений по сравнению с нормальными явлениями при возбуждении магнитной цепи обусловлено в данном случае тем, что размыкание ярма проведено по сечению с нулевым значением потока. С этой точки зрения особенности условий возбуждения обследуемой системы должны выявиться наиболее резко для тех моментов времени, когда разомкнутое сечение должно было бы обладать максимальными значениями потоков.

Отсюда следует, что в качестве второго момента рассматриваемого процесса целесообразно выделить соответствующий $t=0$ или $t=\frac{T}{2}$, когда максимальные величины токов располагаются на краях плоского статора.

Применение уравнения (27') к шестиполусной системе иллюстрируется для этих моментов времени (рис. 3). Упомянувшееся своеобразие выявилося здесь в том, что магнитные потоки каждого из полюсов междужелезного пространства не раздваиваются в ярме на две части, замыкающиеся по обеим сторонам. Все силовые линии этих потоков оказываются замкнутыми только через один из рядом расположенных в воздушном зазоре полюсов противоположной полярности. Максимальные значения потоков в сечениях ярма при этом удваиваются по сравнению с обычными условиями возбуждения магнитной системы в индукционных машинах.

Таковы результаты применения полученных ранее количественных связей к теоретическому случаю бесконечно большой магнитной проводимости железа.

Более близкой к действительности является предпосылка об отсутствии шунтирования потоков междужелезного пространства, т. е. $\mu \neq \infty$ при $Y=0$. Уравнения (22) и (27) тогда дают:

$$B = \frac{\mu H_0}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\pi}{\tau} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) \mp \frac{\beta}{\operatorname{ch} \beta p \tau} \operatorname{sh} \beta y \cdot \cos \omega t \right], \quad (22')$$

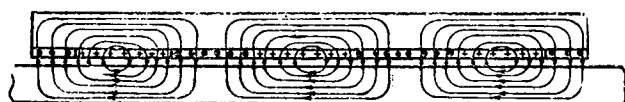


Рис. 3.

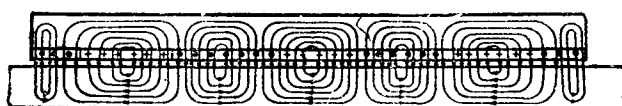


Рис. 4.

$$\Phi_y = \frac{\mu H_0}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) \mp \frac{1}{\operatorname{ch} \beta p \tau} \operatorname{ch} \beta y \cos \omega t \right]. \quad (27'')$$

Для $t = \frac{T}{4}$ и $t = \frac{3T}{4}$ уравнения (22') и (27'') ука-

зывают на наличие некоторой незначительной количественной корректировки, часто используемой в расчетах нормальных асинхронных машин, когда магнитное сопротивление железа представляется возможным учесть несколько увеличенным размером воздушного зазора.

Принципиально иное положение имеет место при $t=0$ и $t=\frac{T}{2}$. В этом случае дополнительное пульсирующее поле с индукциями, распределенными вдоль междужелезного пространства по закону гиперболического синуса, обладает максимальной величиной. Результат построения, базирующегося на применении (22') и (27'') снова к шестиполусному статору, приведен на рис. 4. При этом ширина полюсного деления τ была принята равной 20,4 см, а $\beta = 0,065 \text{ см}^{-1}$. Последняя цифра примерно соответствует оценке относительной магнитной проницаемости ненасыщенной цепи наряду с учетом порядка размеров h и δ . Кривые рис. 4 указывают на то, что при учете магнитной проницаемости ярма последствия от его размыкания не распространяются в одинаковой мере по всей возбуждаемой зоне статора. Таким образом, приведенная ранее на рис. 3 упрощенная картина в действительности не долж-



Рис. 5.

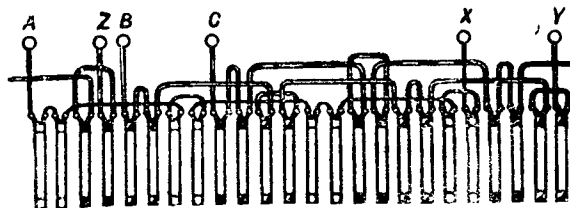


Рис. 6.

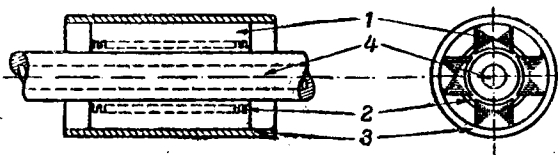


Рис. 7.

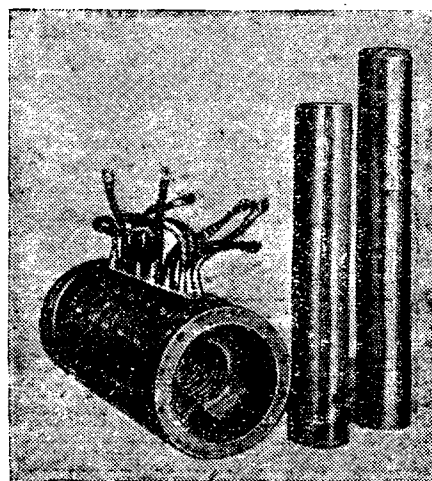


Рис. 8.

на иметь места. Искажения в замыкании потоков междужелезного пространства и распределения индукций локализуются, главным образом, на краях возбуждаемой зоны, весьма мало сказываясь на средней ее части.

Это обстоятельство согласно (22') и (27'') существенно зависит от ρ , т. е. длины активной зоны статора.

С целью сопоставления изложенных выводов сопытными данными было предпринято специальное исследование магнитных полей в двигателях с плоскими статорами. В качестве объекта для экспериментирования использовалась группа трехфазных магнитофугальных двигателей в цилиндрическом исполнении. Идея такого конструктивного оформления заключается в размыкании нормального статора согласно рис. 1, б спрямлении его в плоскость и последующем сворачивании снова в полый цилиндр, вдоль внутренней образующей которого располагается активная зона машины. Поскольку ранее прямолинейные пазы мыслятся замыкающимися теперь в кольца, представляется целесообразным выполнение статорной обмотки из комплекта одинаковых шайбовых катушек (рис. 5).

Пример компоновки схемы соединений, образующей четырехполюсную трехфазную обмотку с двумя пазами на полюс и фазу, приведен на рис. 6. При этом каждая пара включенных навстречу катушек эквивалентна секции в нормальном исполнении однослойной обмотки. Статорная часть магнитопровода, обозначенная на рис. 7 цифрой 1, собрана из пакетов динаможести, смонтированных в трубу 3, представляющую собой наружную оболочку машины. В кольцевые выточки жестей 2, образующие пазы, закладываются катушки обмотки. Цифрой 4 обозначен бегун, соответствующий ротору нормального асинхронного двигателя¹.

¹ Описанная конструктивная компоновка трехфазного цилиндрического магнитофугального двигателя была впервые разработана и практически осуществлена инж. Л. И. Штурманом на Харьковском электромеханическом заводе им. Сталина.

На рис. 8 изображен один из подвергнутых испытаниям образцов, построенных производственными мастерскими Харьковского электротехнического института.

Описанная конструкция представила весьма благоприятные возможности для экспериментального исследования полей в индукционных машинах с разомкнутым магнитопроводом. Измерение магнитных потоков производилось помощью специальных катушек, смонтированных в прорезанные для этой цели небольшие кольцевые канавки на наружной поверхности бегуна. Расстояние между катушками соответствовало двойному зубцовому делению статора. Концы всех катушек выводились строго вдоль образующей бегуна и через специальный переключатель могли присоединяться к флюксметру. Условия возбуждения магнитных полей, соответствующих мгновенным значениям переменных токов, создавались включением обмотки статора в цепи постоянного тока. С этой целью каждая из фаз этой обмотки получала питание от отдельного генератора постоянного тока. Последнее определяло возможность осуществления любых комбинаций в установлении величин и направлений токов. Одновременное замыкание или размыкание обтекаемых этими токами первичных цепей машины являлось импульсом для возбуждения или гашения полей магнитной системы. Предшествовавшее этим операциям последовательное подключение флюксметра к смонтированным на бегуне вспомогательным катушкам позволяло, таким образом, измерить значения потоков в ярме для разных его сечений по длине машины.

Результаты экспериментирования над двухполюсной моделью цилиндрического магнитофугального двигателя иллюстрируются группой кривых² на рис. 9. Каждая из двенадцати кривых дает картину распределения потоков, соответствующую определенному моменту времени.

² Из материалов работы, проведенной по предложению автора в электромашинной лаборатории ХЭТИ кандидатом техн. наук, доц. М. М. Таращанским.

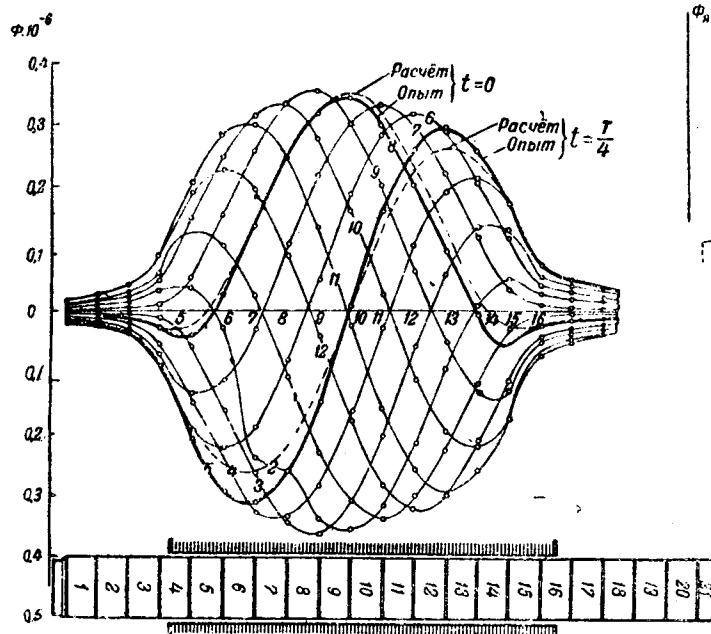


Рис. 9.

На рис. 9 для двух упоминавшихся выше характерных моментов времени ($t=0$ и $t=\frac{T}{4}$)

произведено сопоставление результатов расчета по уравнению (27) с опытными данными (кривые 8 и 5).

Аналогичные испытания над четырех-, восьми- и десятиполюсными машинами в такой же мере подтвердили характер установленных аналитических соотношений. На рис. 10 приведены данные, полученные в результате испытаний машины, обладавшей $p=4$. Рис. 11 дает аналогичные кривые для одного момента времени и нескольких значений токов, устанавливавшихся в процессе обследования десятиполюсной модели. В качестве опытных данных, могущих быть использованными для проверки уравнения (22), небезынтересно сослаться на кривые рис. 12, а и 12, б [Л. 3]. Последние представляют результат проведенных в ВЭИ измерений пространственного и временного распределения индукций в междуферном промежутке. Испытания производились на трехфазном магнитофугальном асинхронном двигателе в плоскостном исполнении. Целью экспериментов было выявление последствий «шунтирования» междуферного пространства машины. Кривые рис. 12, б были получены после установки дополнительных внешних магнитных шунтов. Уравнение (22) учитывает это обстоятельство наличием пульсирующего магнитного поля с пространственным распределением индукций по закону гиперболического косинуса. При определенных количественных соотношениях кривая гиперболического косинуса незначительно отклоняется от прямой, параллельной оси абсцисс. Суммирование ординат бегущей синусоиды с ординатами такой прямой дает кривые, достаточно близко сходящиеся с изображенными на рис. 12.

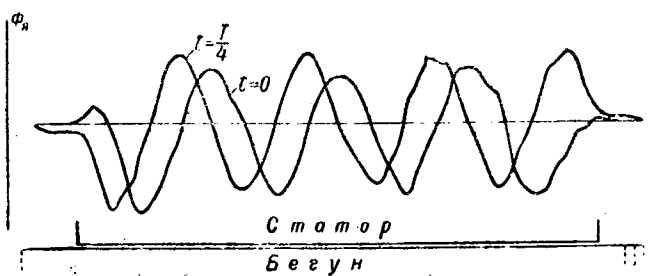


Рис. 10.

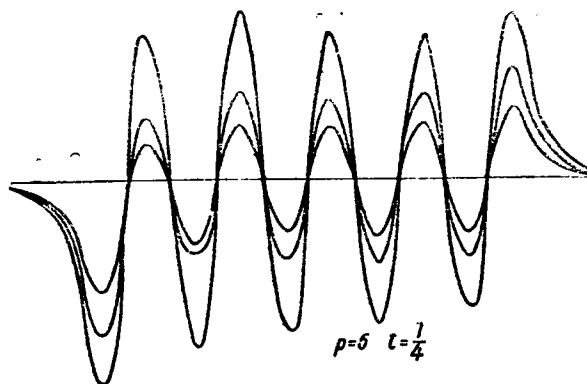


Рис. 11.

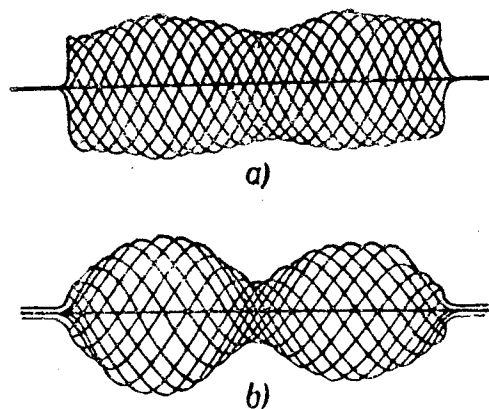


Рис. 12.

Выше было показано, что при отсутствии «шунтирования» магнитные сопротивления ярма приводят к сглаживанию последствий от его размыкания и локализации вносимых искажений на краях статора. Наличие же «шунтирования» разомкнутого магнитопровода, как показывают аналитические соотношения и данные опыта, приводят к явлениям принципиально иного характера, отражающимся не только на краях, но и в средней части дугового или плоского статора.

Таким образом, связи, установленные соотношениями (22) и (27), оказались достаточно близкими к действительности.

Одним из следствий найденных закономерностей является возможность оценки характера и величин э. д. с., индуктируемых в проводниках подвижной части машины. В приложении II дан пример решения подобной задачи.

Своеобразие условий возбуждения разомкнутой магнитной системы приводит к появлению во вторичных цепях помимо обычных э. д. с. скольжений дополнительных э. д. с.

Результаты решения некоторых исходных задач теории индукционных машин с разомкнутым магнитопроводом подтверждают высказанные ранее соображения о специфике рабочих режимов машин с дугowymi и плоскими статорами. Возможности оценки электромеханических свойств и технико-экономических показателей машин подобного рода могут выявиться лишь в результате рассмотрения дополнительной группы вопросов, обусловленных особенностями рассматриваемой конструкции.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Магнитная система развернутой в плоскость индукционной машины изображена на рис. 13. Железо статора и бегуна предполагается ненасыщенным, обладающим относительной магнитной проницаемостью μ . Магнитное сопротивление ярма статора и бегуна в направлении, перпендикулярном плоскости междужелезного пространства, принимается равным нулю. Аналогичное сопротивление зубцов полагается возможным учесть соответствующим увеличением воздушного зазора.

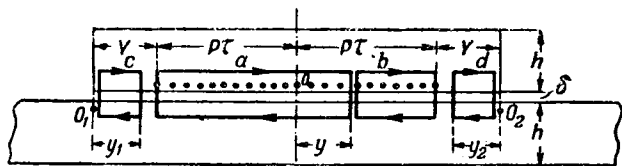


Рис. 13.

С целью оценки явлений магнитного шунтирования междужелезного пространства машины железо статора принято соответственно удлиненным с каждой из сторон активной зоны на величину Y . В связи с этим вводятся три системы координат, с началами O , O_1 и O_2 .

Мгновенные значения токов возбуждаемой зоны статора определяются уравнением бегущей волны:

$$i = A \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) \text{ A/cm}, \quad (1)$$

где A — линейная нагрузка, принимаемая положительной в направлении, перпендикулярном от наблюдателя к плоскости чертежа. Стрелками показаны положительные направления индукций в ярме статора и бегуна.

Для положительных значений индукций междужелезного пространства принимается направление от бегуна к статору:

t — время в сек; τ — полюсное деление в см; $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ — частота намагничивающего тока в обмотке статора.

В дальнейшем используются обозначения:

B — индукция междужелезного пространства под возбуждаемой зоной статора, т. е. в пределах $y = \pm p\tau$;
 $B_{\text{я}}$ — индукция в ярме для тех же пределов $y = \pm p\tau$;
 $B_{\text{л}}$ — индукция междужелезного пространства в зоне левого перекрытия, т. е. для значений y_1 от 0 до Y ;
 $B_{\text{лж}}$ — индукция в ярме для y_1 в пределах от 0 до Y ;
 $B_{\text{л0}}$ — индукция междужелезного пространства в точке начала второй системы координат O_1 , $y_1 = 0$;
 $B_{\text{л1}}$ — индукция междужелезного пространства на грани возбуждаемой зоны статора и левого перекрытия, т. е. для $y_1 = Y$ или $y = -p\tau$;

$B_{\text{н}}$, $B_{\text{нж}}$, $B_{\text{н0}}$ и $B_{\text{н1}}$ — аналогичные обозначения индукций в зоне правого перекрытия.

$\Pi_0 = 1,256 \cdot 10^{-8}$ Н/см — магнитная проницаемость воздуха.

Учет всех формулированных выше положений позволяет следующим образом выразить магнитное напряжение обхода вдоль замкнутого контура a на рис. 13:

$$\frac{B_{\text{л1}}}{\Pi_0} \delta - \frac{B}{\Pi_0} \delta + \frac{2}{\mu \Pi_0} \int_{-p\tau}^y B_{\text{я}} dy = \int_{-p\tau}^y A \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) dy. \quad (2)$$

Индукция в ярме $B_{\text{я}}$ может быть замснена в уравнении (2) соответствующими значениями индукций междужелезного пространства B :

$$B_{\text{я}} = \frac{1}{h} \left(\Phi_{\text{я}} + \int_{-p\tau}^y B dy \right) \text{ Vsec/cm}^2, \quad (3)$$

где $\Phi_{\text{я}}$ — поток в сечении ярма на расстоянии $y = -p\tau$ от середины возбуждаемой зоны статора, обусловленный шунтированием междужелезного пространства машины левым перекрытием;

h — высота ярма, принимаемая для упрощения одинаковой для железа статора и бегуна.

Уравнение (3) отнесено к 1 см длины машины в направлении, перпендикулярном плоскости рис. 13.

После подстановки уравнение (2) приобретает вид:

$$\begin{aligned} B_{\text{л1}} - B + \frac{2}{\mu \delta h} \Phi_{\text{я}}(y + p\tau) + \frac{2}{\mu \delta h} \int_{-p\tau}^y \int_{-p\tau}^y B dy^2 = \\ = \frac{\Pi_0 A}{\delta} \int_{-p\tau}^y \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) dy. \end{aligned} \quad (2')$$

Аналогичный путь учета магнитного напряжения обхода вдоль замкнутого контура b рис. 13 приводит к выражению:

$$\begin{aligned} B_{\text{н1}} - B + \frac{2}{\mu \delta h} \Phi_{\text{н}}(y - p\tau) + \frac{2}{\mu \delta h} \int_{p\tau}^y \int_{p\tau}^y B dy^2 = \\ = \frac{\Pi_0 A}{\delta} \int_{p\tau}^y \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) dy. \end{aligned} \quad (4)$$

Дважды дифференцируя по y левую и правую часть уравнения (2') или (4), можно получить:

$$-\frac{\partial^2 B}{\partial y^2} + \frac{2}{\mu h \delta} B = \frac{A \Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\tau} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right). \quad (5)$$

Полное решение дифференциального уравнения (5) дает:

$$B = \frac{A \Pi_0}{\delta} \frac{\pi}{\tau} \frac{\sin \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right)}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} + C_1 e^{\beta y} + C_2 e^{-\beta y}, \quad (6)$$

где

$$\beta = \sqrt{\frac{2}{\mu h \delta}} \text{ см}^{-1},$$

C_1 и C_2 — постоянные интегрирования.

Для зоны левого перекрытия магнитное напряжение обхода по замкнутому контуру c должно быть равно нулю:

$$\frac{B_{\text{л0}}}{\Pi_0} \delta - \frac{B_{\text{л}}}{\Pi_0} \delta + \frac{2}{\mu \Pi_0} \int_0^{y_1} B_{\text{лж}} dy_1 = 0, \quad (7)$$

учитывая значение $B_{\lambda\lambda} = \frac{1}{h} \int_0^{y_1} B_{\lambda} dy_1$, можно следующим

образом видоизменить уравнение (7):

$$B_{\lambda 0} - B_{\lambda} + \beta^2 \int_0^{y_1} \int_0^{y_1} B_{\lambda} dy_1^2 = 0; \quad (7')$$

дифференцирование (7') по y_1 дает:

$$\frac{\partial^2 B_{\lambda}}{\partial y_1^2} - \beta^2 B_{\lambda} = 0. \quad (8)$$

Решение дифференциального уравнения (8):

$$B_{\lambda} = C_3 e^{\beta y_1} + C_4 e^{-\beta y_1}. \quad (9)$$

Значение магнитного напряжения обхода по контуру d в зоне правого перекрытия:

$$-\frac{B_{n0}}{\Pi_0} \delta + \frac{B_n}{\Pi_0} \delta + \frac{2}{\Pi_0 \mu} \int_0^{y_2} B_{n\lambda} dy_2 = 0. \quad (10)$$

Учет соотношения $B_{n\lambda} = -\frac{1}{h} \int_0^{y_2} B_n dy_2$ и операции, ана-

логичные предыдущему, приводят к следующему виду $B_n = f(y_2)$:

$$B_n = C_5 e^{\beta y_2} + C_6 e^{-\beta y_2}. \quad (11)$$

Условием определения шести постоянных интегрирования уравнений (6), (9) и (11) служит соответствие их значений исходным интегральным уравнениям (2'), (4), (7') и (10). Подстановка (9) в (7') и (11) в (10) дает:

$$C_3 = C_4 \text{ и } C_5 = C_6. \quad (12)$$

Следовательно,

$$B_{\lambda} = 2C_3 \operatorname{ch} \beta y_1, \quad (9')$$

$$B_n = 2C_5 \operatorname{ch} \beta y_2. \quad (11')$$

откуда значения потоков в ярме для зон левого и правого перекрытия:

$$\Phi_{\lambda\lambda} = \int_0^{y_1} B_{\lambda} dy_1 = \frac{2C_3}{\beta} \operatorname{sh} \beta y_1, \quad (13)$$

$$\Phi_{nn} = - \int_0^{y_2} B_n dy_2 = -\frac{2C_5}{\beta} \operatorname{sh} \beta y_2. \quad (14)$$

Величины потоков Φ_{λ} и Φ_n , фигурирующих в уравнениях (2') и (4), соответственно равны:

$$\Phi_{\lambda} = \frac{2C_3}{\beta} \operatorname{sh} \beta Y \text{ и } \Phi_n = \frac{2C_5}{\beta} \operatorname{sh} \beta Y. \quad (15)$$

В дополнение к (2') и (4) для определения остальных постоянных интегрирования можно использовать магнитные напряжения обхода по контурам l и f рис. 14, охватывающим возбуждаемые и невозбуждаемые зоны статора:

$$\begin{aligned} \frac{B_{\lambda 0}}{\Pi_0} \delta - \frac{B_0}{\Pi_0} \delta + \frac{2}{\mu \Pi_0} \int_{-p\tau}^l B_{\lambda} dy + \frac{2}{\mu \Pi_0} \int_0^y B_{\lambda\lambda} dy_1 = \\ = A \int_{-p\tau}^0 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) dy; \end{aligned} \quad (16)$$

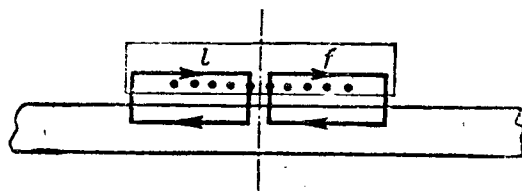


Рис. 14.

$$\begin{aligned} \frac{B_0}{\Pi_0} \delta - \frac{B_{n0}}{\Pi_0} \delta + \frac{2}{\mu \Pi_0} \int_0^{p\tau} B_{\lambda} dy + \frac{2}{\mu \Pi_0} \int_Y^0 B_{n\lambda} dy_2 = \\ = A \int_0^{p\tau} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y \right) dy. \end{aligned} \quad (17)$$

Подстановка (6), (9') и (11') в уравнения (2'), (4), (16) и (17) приводит к следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} C_1 = \mp \frac{1}{2} \frac{\frac{A \Pi_0}{\delta}}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\operatorname{sh} \beta Y}{\operatorname{sh} \beta(Y + p\tau)} \frac{\pi}{\tau} \sin \omega t + \right. \\ \left. + \frac{\operatorname{ch} \beta Y}{\operatorname{ch} \beta(Y + p\tau)} \beta \cos \omega t \right] V \text{ sec/cm}^2, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} C_2 = \mp \frac{1}{2} \frac{\frac{A \Pi_1}{\delta}}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\operatorname{sh} \beta Y}{\operatorname{sh} \beta(Y + p\tau)} \frac{\pi}{\tau} \sin \omega t - \right. \\ \left. - \frac{\operatorname{ch} \beta Y}{\operatorname{ch} \beta(Y + p\tau)} \beta \cos \omega t \right]; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} C_3 = \pm \frac{1}{2} \frac{\frac{A \Pi_0}{\delta}}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{sh} \beta(Y + p\tau)} \frac{\pi}{\tau} \sin \omega t + \right. \\ \left. + \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{ch} \beta(Y + p\tau)} \beta \cos \omega t \right]; \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} C_5 = \pm \frac{1}{2} \frac{\frac{A \Pi_0}{\delta}}{\beta^2 + \frac{\pi^2}{\tau^2}} \left[\frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{sh} \beta(Y + p\tau)} \frac{\pi}{\tau} \sin \omega t - \right. \\ \left. - \frac{\operatorname{sh} \beta p\tau}{\operatorname{ch} \beta(Y + p\tau)} \beta \cos \omega t \right], \end{aligned} \quad (21)$$

где верхние знаки соответствуют четному числу пар полюсов возбуждаемой зоны статора, а нижние нечетному.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Ниже рассматривается пример определения э. д. с., индуцируемых в проводниках вторичных цепей, движущихся в направлении перемещения бегущей волны индукций с постоянной скоростью v , равной

$$v = (1 - s) 2\tau f = (1 - s) \frac{\tau}{\pi} \omega \text{ cm/sec}, \quad (28)$$

где s — скольжение.

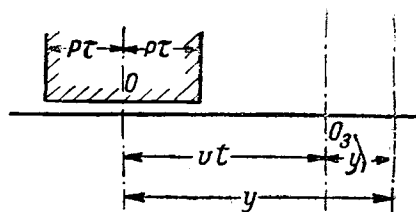


Рис. 15.

Тогда э. д. с., индуцируемые в любой момент времени в проводниках, оказывающихся в активной зоне машины на расстоянии y от начала статорных осей координат O (рис. 13), определяются следующим соотношением:

$$e = -\frac{d\Phi_{\pi}}{dt} = -\left(\frac{\partial\Phi_{\pi}}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial\Phi_{\pi}}{\partial t}\right) = -\left(\frac{\partial\Phi_{\pi}}{\partial y} v + \frac{\partial\Phi_{\pi}}{\partial t}\right). \quad (29)$$

При этом имеются в виду достаточно узкие проводники длиной в 1 см, расположенные перпендикулярно направлению движения и направлениям индукций междужелезного пространства.

Подстановка в (29) $\Phi_{\pi} = \Psi(y, t)$ согласно (27) дает:

$$e = \frac{A\Pi_0}{\delta} \left\{ s\omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y\right) \pm \right. \\ \pm \omega \left[(1-s) \frac{\text{sh } \beta Y}{\text{sh } \beta(Y+p\tau)} - \frac{\text{ch } \beta Y}{\text{ch } \beta(Y+p\tau)} \right] \text{ch } \beta y \sin \omega t \pm \\ \pm \omega \left[\frac{\pi}{\tau^3} \frac{\text{sh } \beta Y}{\text{sh } \beta(Y+p\tau)} + \right. \\ \left. + (1-s) \frac{\tau^3}{\pi} \frac{\text{ch } \beta Y}{\text{ch } \beta(Y+p\tau)} \right] \text{sh } \beta y \cos \omega t \left. \right\}. \quad (30)$$

Для учета процесса индуктирования э. д. с. в период прохождения проводниками активной зоны целесообразно введение новой системы координат O_3 (рис. 15), расположенной на бегуне. Для перехода к выражению э. д. с. в перемещающихся координатах необходимо в уравнении (30) заменить

$$y = y_3 + (1-s) \frac{\tau}{\pi} \omega t, \quad (31)$$

после чего выражение э. д. с. приобретает вид:

$$e = \frac{A\Pi_0}{\delta} \left\{ s\omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y_3\right) \pm \right. \\ \pm \omega \left[(1-s) \frac{\text{sh } \beta Y}{\text{sh } \beta(Y+p\tau)} - \frac{\text{ch } \beta Y}{\text{ch } \beta(Y+p\tau)} \right] \text{ch } \beta \left[y_3 \pm \right. \\ \left. \pm (1-s) \frac{\tau}{\pi} \omega t \right] \sin \omega t \pm \omega \left[\frac{\pi}{\tau^3} \frac{\text{sh } \beta Y}{\text{sh } \beta(Y+p\tau)} + \right. \\ \left. + (1-s) \frac{\tau^3}{\pi} \frac{\text{ch } \beta Y}{\text{ch } \beta(Y+p\tau)} \right] \text{sh } \beta \left[y_3 \pm \right. \\ \left. + (1-s) \frac{\tau}{\pi} \omega t \right] \cos \omega t \left. \right\}. \quad (32)$$

При отсутствии учета «шунтирования» разомкнутого магнитопровода, т. е. $Y=0$:

$$e = \frac{A\Pi_0}{\delta} \left\{ s\omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y_3\right) \mp \right. \\ \mp \frac{\omega}{\text{ch } \beta p\tau} \text{ch } \beta \left[y_3 + (1-s) \frac{\tau}{\pi} \omega t \right] \sin \omega t \pm \\ \pm \omega (1-s) \frac{\tau^3}{\pi} \frac{1}{\text{ch } \beta p\tau} \text{sh } \beta \left[y_3 + (1-s) \frac{\tau}{\pi} \omega t \right] \cos \omega t \left. \right\}. \quad (32')$$

Последнее для бесконечно большой проницаемости железа, т. е. $\beta = 0$, дает:

$$e = \frac{A\Pi_0}{\delta} \frac{\tau^2}{\pi^2} \omega \left[s \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} y_3\right) \mp \sin \omega t \right]. \quad (32'')$$

Литература

1. Trombetta. J. of AIEE, апрель 1922.
2. Я. С. Япольский. Электричество, № 11, 1925; Eng., август 1926.
3. Б. Д. Садовский. Вестник электропромышленности, № 8, 1940.
4. П. А. Фридкин. Электричество, № 7—8, 1937. Изв. Акад. наук СССР, Отделение техн. наук, № 1—2, 1915.



Системы Леонарда с вольтодобавочными машинами для широкого электрического регулирования скорости

Инж. К. В. УРНОВ

Центроэлектромонтаж

За последние годы в технике было обращено большое внимание на расширение диапазона электрического регулирования скорости. Естественно, что прежде всего было уделено внимание системе Леонарда; особый интерес при этом вызвали системы с главными машинами нормального исполнения.

Падение напряжения в главной цепи системы Леонарда при увеличении нагрузки на валу двигателя вызывает уменьшение его скорости вращения. Абсолютное снижение последней при изменении нагрузки от холостой до номинальной практически одинаково для любой скорости вращения идеального холостого хода. Если эта скорость мала, то процентное колебание скорости в процессе работы будет высоким. Пусковой же момент системы при этом невысок.

Применение вольтодобавочных машин, связанных с цепью шунтовой обмотки генератора и имеющих возбуждение в функции тока главной цепи системы Леонарда, позволяет (при увеличении нагрузки) увеличить ток в шунтовой обмотке генератора и его э. д. с. и в итоге стабилизировать скорость вращения двигателя; эта же система при малом пусковом моменте двигателя автоматически увеличивает момент. Практическая возможность работы системы Леонарда с малыми скоростями, естественно, расширяет пределы ее регулирования. При уменьшении скорости у двигателя с самовентиляцией ухудшаются условия охлаждения, но этот вопрос с точки зрения расширения пределов регулирования не имеет значения.

Установки с вольтодобавочными машинами могут иметь различные схемы включения и системы возбуждения. Вольтодобавочная машина B может включаться по отношению к шунтовой обмотке генератора ($ШОГ$) параллельно (рис. 1, а), последовательно (рис. 1, б) и по схеме моста (американская схема¹ ротороль, рис. 1, в).

Изменение тока в шунтовой обмотке генератора может быть достигнуто за счет изменения величины э. д. с. вольтодобавочной машины. При

¹ Формально эта схема не является схемой ротороль, так как последняя предусматривает совмещение этой схемы со схемой 2, а и 2, б.

этом, изменяя направление этой э. д. с. и увеличивая ее до известного значения, можно изменить направление тока в шунтовой обмотке генератора системы Леонарда и размагнитить генератор от остаточного магнетизма. Такое мероприятие снижает минимальную скорость вращения холостого хода и в конечном счете расширяет пределы регулирования скорости.

Как видно из рис. 1, при включении вольтодобавочной машины по первой схеме ее номинальное напряжение может быть наименьшим, при включении же по второй схеме — наибольшим.

Последовательное соединение вольтодобавочной машины уменьшит приведенную постоянную времени обмотки возбуждения генератора; некоторое уменьшение ее в первой схеме можно получить соответствующим подбором омических сопротивлений.

Схема рис. 1, в несколько сложнее первых, поскольку требует применения генератора с двумя обмотками возбуждения, что увеличивает число выводов концов обмоток; кроме этого вольтодобавочная машина должна быть рассчитана на больший ток. Однако, ее преимущества заключаются в том, что сопротивление R_c не влияет на процесс изменения тока в шунтовой обмотке генератора за счет изменения э. д. с. вольтодобавочной машины.

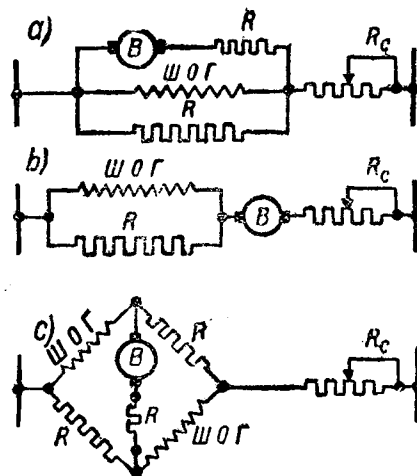


Рис. 1.

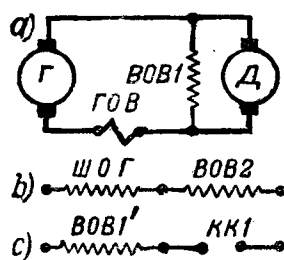


Рис. 2.

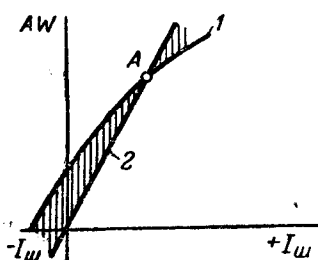


Рис. 3.

Система возбуждения вольтодобавочной машины может быть одиночная, двойная и тройная. При одиночной системе машина имеет одну обмотку возбуждения (обмотка ГОВ рис. 2; а).

Одиночная система возбуждения не позволяет снизить скорость вращения идеального холостого хода ниже, чем это определяется остаточным магнетизмом. Это позволяет осуществить тройная система возбуждения (рототроль).

Вторая обмотка возбуждения вольтодобавочной машины подключается к клеммам генератора или двигателя системы Леонарда (обмотка ВОВ1 (рис. 2, а), а третья включается последовательно с обмоткой возбуждения генератора этой системы (обмотки ШОГ и ВОВ2 рис. 2, б).

Вышеуказанные обмотки возбуждения включены навстречу друг другу, и, если можно так сказать, вторая обмотка создает отрицательный поток возбуждения в вольтодобавочной машине, а третья положительный. Первая обмотка возбуждения включена так же, как и в одиночной системе возбуждения, и создает положительный поток возбуждения. Если ампервитки второй и третьей обмоток возбуждения выбрать с расчетом на удовлетворительную работу в зоне остаточного магнетизма, то одновременный подбор желательного соотношения ампервитков указанных обмоток в зоне положительных значений тока возбуждения будет уже зависить от этого выбора.

На рис. 3 изображены кривые ампервитков возбуждения вольтодобавочной машины в функции тока возбуждения генератора: кривая 1 показывает изменение ампервитков второй обмотки возбуждения, а прямая 2 — третьей. Первая кривая аналогична кривой намагничивания генератора при холостом ходе, а прямая 2 определяет прямолинейную зависимость ампервитков от тока в шунтовой обмотке генератора. Кривая 1 при наличии тока в якоре генератора несколько изменится. Как видно из кривых, после точки А суммарные ампервитки этих обмоток уже действуют согласно с ампервитками первой обмотки. Большого значения результирующие ампервитки последних двух обмоток в зоне высоких значений положительных токов в шунтовой обмотке генератора не имеют, так как требования к стабилизации скорости на высоких скоростях не являются жесткими.

В двойной системе возбуждения вольтодобавочная машина, кроме первой обмотки возбуждения, как и в одиночной системе, имеет лишь одну дополнительную обмотку — ВОВ1' (рис. 2, в).

Последняя подключается к независимому источнику тока (к возбудителю) посредством контактов КК1, связанных с реостатом R_c , в то время, когда ток в шунтовой обмотке генератора, определяемый этим реостатом, близок к нулю; эта обмотка создает отрицательные ампервитки.

Аналитический расчет неуставившихся процессов системы Леонарда с вольтодобавочными машинами тройного возбуждения весьма сложен. Если суммарные витки второй и третьей обмоток возбуждения значительно меньше максимальных положительных ампервитков первой, то возможна расчетная проверка неуставившегося процесса по уравнениям для одиночной системы возбуждения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Наиболее интересен случай неуставившегося режима при внезапном приложении нагрузки, так как здесь возможно снижение скорости вращения до нуля, т. е. остановка двигателя и затем без вмешательства оператора разгон его. Автору удалось провести испытания промышленной установки с системой Леонарда, имевшей схему включения вольтодобавочной машины по рис. 1, а и одиночное возбуждение. Ниже дается расчет для этой схемы.

U — напряжение возбудителя; E_g — э. д. с. вольтодобавочной машины; $I_{ш}$ и $R_{ш}$ — ток и сопротивление шунтовой обмотки генератора; R_p и r_g — разрядное сопротивление и сопротивление цепи вольтодобавочной машины, включенные параллельно шунтовой обмотке генератора. В связи с тем, что наиболее важным является стабилизация скорости на низких скоростях, кривые намагничивания генератора и вольтодобавочной машины принимаются за прямую. Между моментом и скоростью двигателя предполагается линейная зависимость.

Помимо принятых введем следующие обозначения: M_c и M'_c — начальный момент и момент вновь приложенной нагрузки; M_n и ω_n — номинальный момент и номинальная скорость двигателя; $\omega_{он}$ и ω_0 — скорость идеального холостого хода системы Леонарда при номинальных данных и любая текущая скорость идеального холостого хода; E_g — э. д. с. генератора; I_g и R_g — ток и сопротивление цепи якоря; $T_{ш}$ — постоянная времени обмотки возбуждения генератора; J — приведенный момент инерции системы, E_d и ω_x — э. д. с. и скорость двигателя.

Пусть также:

$$\Gamma = \frac{E_g}{I_{ш}}; B = \frac{E_g}{I_g}; E_d = \omega_x c \Phi; \gamma = \frac{M_n}{\omega_{он} - \omega_n}; L = T_{ш} R_{ш};$$

$$T = T_{ш} \left(\frac{R_{ш}}{R_c} + \frac{R_{ш}}{r_g} + \frac{R_{ш}}{R_p} \right); Z = 1 + \frac{R_{ш}}{R_c} + \frac{R_{ш}}{r_g} + \frac{R_{ш}}{R_p} - \frac{B\Gamma}{r_g R_g};$$

$$q = \frac{r_g R_g}{B c \Phi}; A = \frac{\Gamma}{c \Phi}; \beta = A + Zq; J_0 = \frac{\gamma}{2J}; T_0 = \frac{Z}{2T};$$

$$y_0 = \frac{\gamma A}{qJT}; x = J_0 + T_0; x_0 = J_0 - T_0; y = y_0 - x^2_0.$$

Составим теперь следующие уравнения:

$$M_x - M'_c = (\omega_0 - \omega_x)\gamma - M'_c = J \frac{d\omega_x}{dt}, \quad (1)$$

$$U' = U - IR_c = I_{ш} R_{ш} + L \frac{dI_{ш}}{dt} = I_p R_p = E_g - I_g r_g;$$

$$I_g = \frac{E_g - E_d}{R_g}.$$

После соответствующих подстановок получим:

$$\frac{d^2 I_{\text{ш}}}{dt^2} + a \frac{dI_{\text{ш}}}{dt} + b I_{\text{ш}} = e, \quad (2)$$

где

$$a = \frac{J \cdot b' + a' \gamma}{J \alpha'}; \quad b = \frac{A \gamma + b' \gamma}{J \alpha'}; \quad e = \frac{M'_c + e' \gamma}{J \alpha'};$$

$$a' = \frac{T \cdot r_a R_{\text{я}}}{B c \Phi}; \quad b' = \frac{Z \cdot r_a R_{\text{я}}}{B c \Phi}; \quad e' = \frac{U \cdot r_a R_{\text{я}}}{B R_c c \Phi}.$$

Решая уравнение (2), получим:

$$\omega_x = \omega_c + (M_c - M'_c) \frac{Z q}{\gamma^3} - \frac{M_c - M'_c}{J} \sqrt{\frac{A}{\beta y}} \cos \left[t \sqrt{y} + \arctg \frac{y + x x_0}{x \sqrt{y} (1 - \frac{x_0}{x})} \right] e^{-x t}.$$

Для определения постоянной интегрирования использованы начальные условия:

$$t = 0; \quad I_{\text{ш}} = I_{\text{нш}}; \quad \frac{dI_{\text{ш}}}{dt} = 0; \quad \omega_x = \omega_c.$$

где ω_c — скорость двигателя перед изменением нагрузки, а $I_{\text{нш}}$ — ток в шунтовой обмотке генератора в это время.

Для соблюдения условия стабилизации скорости Z должно быть равно нулю.

В этом случае система, выведенная из равновесия мгновенно приложенной нагрузкой, после качания приобретает прежнюю скорость:

$$\omega_x = \omega_c - \frac{M_c - M'_c}{J} \sqrt{\frac{A}{\beta y}} \cos \left(\frac{\pi}{2} + t \sqrt{y} \right) e^{-x t}.$$

Упомянутые выше испытания были проведены на одной из резервных секций ротационного агрегата газеты „Известия“, которая во время войны по нашему предложению была оборудована самостоятельным приводом и введена в нормальную эксплуатацию.

Для этой цели частично было использовано электрооборудование, которое в свое время было запроектировано и поставлено ХЭТЗ для испытаний привода на постоянном токе с электрическим валом. В рассматриваемом случае применение последнего было не нужно.

Установка имела следующие данные: мощность двигателя и генератора 34 кВт, номинальное число оборотов двигателя 1250 об/мин, номинальный ток двигателя 173 А; напряжение двигателя 220 В; напряжение генератора и возбуждателя 230 В.

Результаты эксплуатации показали, что система при 2—2,5% скорости от номинальной работает устойчиво.

Одним из важных вопросов является вопрос о возможной посадке скорости вращения при мгновенном увеличении нагрузки в каких-то пределах. Следует отрицательно отнестись к такой работе системы, при которой после мгновенного увеличения нагрузки происходит снижение скорости до нуля, и машина не вращается до появления у генератора необходимого напряжения, создаваемого

вольтодобавочной машиной, после чего машина вновь начинает вращаться. Неожиданное вращение после „покоя“ может быть опасным для обслуживающего персонала. Такой процесс работы при определенных параметрах системы практически наблюдался, и для его устранения потребовалось проведение соответствующих расчетов, а также специальная наладка и регулировка схемы. При этом было обнаружено, что качество работы системы, главным образом, зависело от стабильности кривой намагничивания вольтодобавочной машины. Большой остаточный магнетизм у последней и в связи с этим большая петля гистерезиса в процессе работы (намагничивание и размагничивание) не позволяли получить устойчивое соотношение между э. д. с. вольтодобавочной машины и током ее возбуждения, т. е. током цепи якоря системы Леонарда. Сказанное

подтверждается кривыми на рис. 4, изображающими изменение скорости при внезапном приложении нагрузки (включение валиков печатного аппарата) в зависимости от времени.

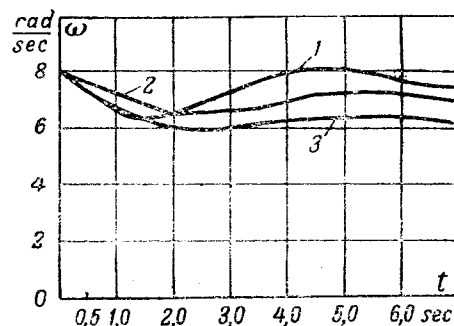


Рис. 4.

Кривая 2 взята из осциллограммы. Кривые 1 и 3 — расчетные кривые, построенные по вышеприведенному уравнению. Все расчетные данные для этих кривых — одинаковые, за исключением величины B , определяющей параметры кривой намагничивания вольтодобавочной машины. Если величину B для кривой 3 принять за 100% ($B = 0,19$), то величина B для кривой 1 будет меньше лишь на 10% ($B = 0,17$), но кривая изменения скорости меняется довольно резко. Пользуясь случаем, отметим, что рассматриваемый привод позволил получить весьма малую ползучую скорость без применения схемы с размагничиванием, так как генератор имел малый остаточный магнетизм.

Вольтодобавочная машина для рассматриваемой установки была перемотана из обычной серийной машины. Безусловно целесообразна постановка вопроса об изготовлении электрических машин постоянного тока, хотя бы небольшой мощности, с малым остаточным магнетизмом. Такие машины могут быть применены не только в качестве вольтодобавочных, но и для других специальных систем электропривода.



Анализ влияния отдельных параметров на коэффициент мощности асинхронных двигателей

Инж. Э. Д. КРАВЧИК

Завод Министерства электропромышленности СССР

На основании анализа круговой диаграммы Гейланда можно установить с некоторой долей приближения основные закономерности изменения коэффициента мощности асинхронного двигателя и влияние на эту величину отдельных параметров двигателя.

Упрощенная формула для определения $\cos \varphi$. В основу вывода упрощенной формулы для определения $\cos \varphi$ положена круговая диаграмма Гейланда (рис. 1).

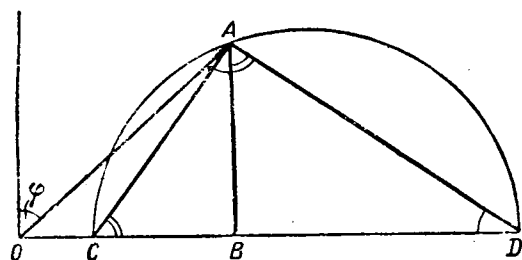


Рис. 1.

Обозначения:

$$OC = I_0; OA = I; \frac{I_0}{I_k} = i_0;$$

$$AB = I_a; OB = I_x; CB = I_k; I_x = I_0 + I_k;$$

$$OD = I_{ki} = \frac{I_x}{\sin \varphi}; CD = I_{ki} - I_0; \frac{I_{ki}}{I} = i_{ki}.$$

Основные соотношения:

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I}, \quad (1)$$

$$I^2 = I_a^2 + I_x^2 = I_a^2 + (I_0 + I_k)^2. \quad (2)$$

Пользуясь простыми геометрическими соотношениями, после ряда алгебраических преобразований получаем следующие формулы:

$$\sin \varphi = \frac{1 + i_{ki} i_0}{i_{ki} + i_0} = \frac{1 + \frac{I_{ki} I_0}{I^2}}{\frac{I_{ki} + I_0}{I}}; \quad (3)$$

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{(1 - i_0^2)(i_{ki}^2 - 1)}{i_{ki} + i_0}}. \quad (4)$$

Влияние величины тока нагрузки на $\cos \varphi$. Из уравнения (3) следует, что

$$\varphi = \arcsin \frac{1 + \frac{I_{ki} I_0}{I^2}}{\frac{I_{ki} + I_0}{I}}. \quad (5)$$

Предполагая $I_{ki} = \text{const}$ и $I_0 = \text{const}$, можно установить, что при $I = \sqrt{I_0 I_{ki}}$ угол φ будет минимальным.

Этому соответствуют известные соотношения:

$$\sin \varphi_{\min} = \frac{2 \sqrt{I_0 I_{ki}}}{I_0 + I_{ki}} = \frac{2 \sqrt{i_0 i_{ki}}}{i_0 + i_{ki}}, \quad (6)$$

$$\cos \varphi_{\max} = \frac{I_{ki} - I_0}{I_{ki} + I_0} = \frac{i_{ki} - i_0}{i_{ki} + i_0}. \quad (7)$$

При данных значениях I_{ki} и I_0 $\cos \varphi$ достигнет максимума при токе нагрузки $I = \sqrt{I_0 I_{ki}}$.

Если проследить, как влияют на величину $\cos \varphi$ отступления от условий максимума, т. е. уменьшение или увеличение тока нагрузки по сравнению с величиной $I = \sqrt{I_0 I_{ki}}$, то можно прийти к следующим выводам: а) отступления от условий максимума $\cos \varphi$ на $\pm 10\%$ не влекут за собой никаких существенных изменений в величине $\cos \varphi$; б) чем меньше величина $\cos \varphi_{\max}$, тем резче влияют на величину $\cos \varphi$ отступления от условий максимума; в) при проектировании асинхронных двигателей необходимо для достижения достаточно высокого значения $\cos \varphi$ стремиться к тому, чтобы ток нагрузки фактического режима двигателя находился в пределах:

$$0,8 \sqrt{I_{ki} I_0} \leq I \leq 1,3 \sqrt{I_{ki} I_0}. \quad (8)$$

Отступления от этих пределов влекут за собой заметное снижение $\cos \varphi$, особенно при низких значениях $\cos \varphi_{\max}$.

Сравнение влияния изменения относительного тока холостого хода (i_0) и относительного идеального тока короткого замыкания (i_{ki}) на величину $\cos \varphi$. Предположим, что в двигателе, для которого

$$\sin \varphi = \frac{1 + i_0 i_{ki}}{i_0 + i_{ki}},$$

произведены изменения, обуславливающие одновременное изменение относительного тока холостого хода с i_0 на i'_0 и относительного идеального тока короткого замыкания с i_{ki} на i'_{ki} .

Пусть

$$i'_0 = (1 + \gamma) i_0, \quad (9)$$

$$i'_{ki} = (1 + \delta) i_{ki}, \quad (10)$$

причем γ и δ могут быть как положительными, так и отрицательными.

Условие, при котором одновременные изменения i_0 и i_{ki} будут совершенно эквивалентными и не повлекут за собой изменение угла φ , выражается уравнением:

$$\sigma = \frac{\delta}{\gamma} = A \left(i_{ki} - \frac{1}{i_{ki}} \right) + A \delta (i_0 + i_{ki}), \quad (11)$$

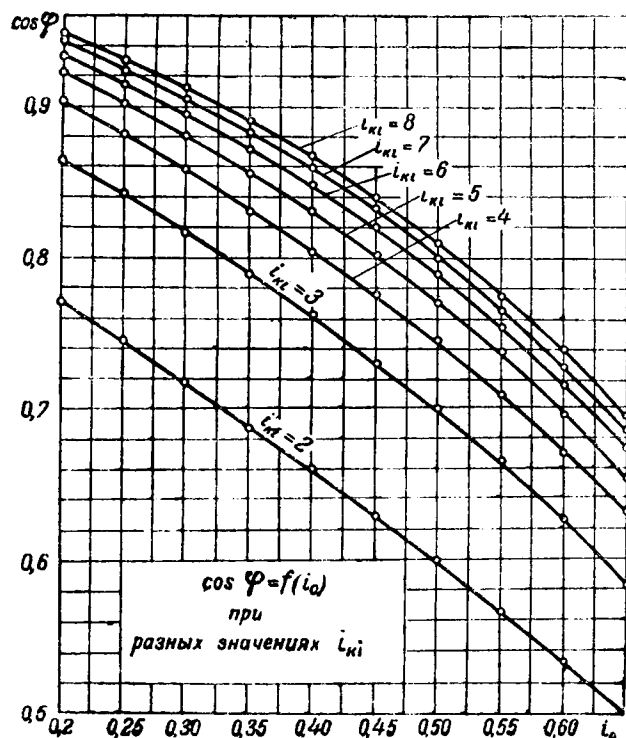


Рис. 2.

где

$$\frac{\delta}{\gamma} = \sigma$$

$$\frac{i_0}{1-i_0^2} = A.$$

и

Уравнение (11) показывает, в каком соотношении должно находиться одновременное увеличение или уменьшение i_{ki} и i_0 , чтобы $\cos \varphi$ двигателя не изменился.

Так как современные двигатели характеризуются сравнительно большими значениями i_0 и i_{ki} , то является естественной их сравнительно большая „чувствительность“ в отношении $\cos \varphi$ к изменениям тока холостого хода. Отсюда следует тот практический вывод, что при изготовлении современных двигателей особое внимание должно быть обращено на то, чтобы все размеры, влияющие на магнитную цепь, и в особенности величина воздушного зазора точно соответствовали расчетным данным.

Уравнение (11) очень полезно при проектировании новых двигателей, так как оно дает ориентировку, в каком направлении следует изменить данный проектный вариант, чтобы достигнуть желаемых изменений величины $\cos \varphi$. Оно также дает возможность оценить без проведения детального расчета, как те или иные изменения электрических данных отразятся на величине $\cos \varphi$ двигателя.

Зависимость $\cos \varphi$ от величины i_0 и i_{ki} . Чтобы наглядно представить зависимость $\cos \varphi$ двигателя от величины i_0 и i_{ki} , нами сделаны соответствующие расчеты, представленные на кривых рис. 2 и 3, в которых приведены значения $\cos \varphi$, в зависимости от величины i_0 и i_{ki} .

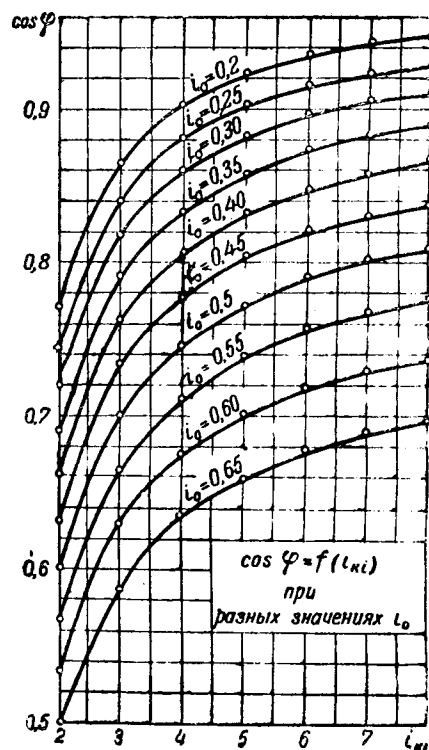


Рис. 3.

Кривые на рис. 2 показывают, что при $i_{ki} = \text{const}$ зависимость $\cos \varphi$ от i_0 представляет собой функцию, очень близкую к линейной. Следовательно, при данном значении i_{ki} уменьшение i_0 влечет за собой равномерное повышение $\cos \varphi$ на любом участке.

Кривые на рис. 3 показывают, что при $i_0 = \text{const}$ зависимость $\cos \varphi$ от i_{ki} представляет собой сложную функцию, причем значения $\cos \varphi$ очень быстро возрастают при увеличении i_{ki} от 2 до 5. На участках $i_{ki} > 5$ зависимость $\cos \varphi$ от i_{ki} представляет собой функцию, близкую к линейной. В то время как увеличение i_{ki} от 2 до 5 дает повышение $\cos \varphi$ на 0,15—0,17, дальнейшее увеличение i_{ki} от 5 до 8 дает повышение $\cos \varphi$ всего на 0,025 ÷ 0,040.

Выводы. Из всего сказанного вытекает, что с точки зрения величины $\cos \varphi$ снижение тока холостого хода выгодно на всех участках в одинаковой мере, а повышение тока короткого замыкания представляет существенные выгоды только до $i_{ki} \approx 5$. Дальнейшее повышение i_{ki} существенного выигрыша в смысле повышения $\cos \varphi$ не дает. Следовательно, при проектировании нормальных асинхронных двигателей надо стремиться удерживать величину i_{ki} в пределах 5, но не выше 6.

Добиваться снижения i_{ki} ниже величины $i_{ki} = 5$ также не следует, так как рекомендуемое значение i_{ki} в большинстве случаев, являясь вполне приемлемым с точки зрения прямого пуска, особенно небольших двигателей, одновременно дает возможность достигнуть высоких значений $\cos \varphi$.



Аналитическое решение уравнений четырехполюсника и его применение к расчету линий электропередачи

Инж. В. В. АНДРЕЕВ

Ленэнерго

Аналитическую обработку основных уравнений четырехполюсника не принято доводить до исчерпывающего конца; предпочитают графические методы. Между тем, введение в них комплексов мощностей на входе и выходе

$$\left. \begin{aligned} P_1 - jQ_1 &= \hat{U}_1 \hat{I}_1, \\ P_2 - jQ_2 &= \hat{U}_2 \hat{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

приводит к достаточно простым выражениям для наиболее важных характеристик четырехполюсника, которые 1) не содержат комплексных чисел и 2) являются каноническими уравнениями окружностей в координатах P и Q .

Действительно, если представить коэффициенты четырехполюсника в виде

$$\begin{aligned} \hat{A} &= a_1 + ja_2, \quad \hat{B} = b_1 + ib_2, \quad \hat{C} = c_1 + jc_2, \\ \hat{D} &= d_1 + id_2, \end{aligned}$$

то из основных уравнений нетрудно получить, например, для модуля напряжения на входе:

$$\begin{aligned} U_1^2 &= \left(\frac{B}{U_2} P_2 + U_2 \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2}{B} \right)^2 + \\ &+ \left(\frac{B}{U_2} Q_2 + U_2 \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{B} \right)^2, \end{aligned} \quad (2)$$

а для модуля падения напряжения

$$\begin{aligned} \Delta U^2 &= \left(\frac{B}{U_2} P_2 + U_2 \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 - b_1}{B} \right)^2 + \\ &+ \left(\frac{B}{U_2} Q_2 + U_2 \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1 - b_2}{B} \right)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где U_1 , U_2 , ΔU и B — модули соответствующих комплексов. Аналогичную форму имеют выражения для U_2^2 и ΔU^2 через P_1 , Q_1 и U_1 . Подобным же способом основные уравнения могут быть решены относительно модулей токов на входе и выходе и тока утечки. Например:

$$\begin{aligned} I_1^2 &= \left(\frac{C}{I_2} P_2 + I_2 \frac{d_1 c_1 + d_2 c_2}{C} \right)^2 + \\ &+ \left(\frac{C}{I_2} Q_2 + I_2 \frac{d_2 c_1 - d_1 c_2}{C} \right)^2. \end{aligned} \quad (4)$$

Необходимо подчеркнуть, что полученные решения при подстановке в них натуральных параметров (сопротивлений или проводимостей) элементов схемы замещения четырехполюсника не претерпевают значительных усложнений (если для напряжений пользоваться схемой П и проводимостями, а для токов — схемой Т и сопротивлениями).

Такая подстановка в выражения типа (2) и (3) дает:

$$\left. \begin{aligned} U_1^2 &= \frac{[P_2 + U_2^2(g + g_2)]^2 + [Q_2 + U_2^2(b + b_2)]^2}{U_2^2(g^2 + b^2)}, \\ U_2^2 &= \frac{[P_1 - U_1^2(g + g_1)]^2 + [Q_1 - U_1^2(b + b_1)]^2}{U_1^2(g^2 + b^2)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta U^2 &= \frac{[P_2 + U_2^2 g_2]^2 + [Q_2 + U_2^2 b_2]^2}{U_2^2(g^2 + b^2)}, \\ \Delta U^2 &= \frac{[P_1 - U_1^2 g_1]^2 + [Q_1 - U_1^2 b_1]^2}{U_1^2(g^2 + b^2)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Здесь и ниже индексы 1 и 2 относятся к крайним, а параметры без индекса — к среднему элементу схемы замещения.

Потери активной и реактивной мощности в четырехполюснике при пользовании, например, схемой П составляют:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= U_1^2 g_1 + U_2^2 g_2 + \Delta U^2 g, \\ \Delta Q &= U_1^2 b_1 + U_2^2 b_2 + \Delta U^2 b. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для схемы Т они выразятся такими же трехчленами, составленными из токов и сопротивлений.

Вводя в (7) соответственно первые или вторые из выражений (5) и (6), получим формулы потерь через напряжение и мощность одного из концов четырехполюсника, например:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{g + g_2}{U_1^2(g^2 + b^2)} \left[\left(P_1 - U_1^2 \frac{g g_1 + g_1 g_2 + g g_2}{g + g_2} \right)^2 + \right. \\ &+ \left. \left(Q_1 - U_1^2 \frac{g b_1 + g_2 b_1 + g_2 b}{g + g_2} \right)^2 \right] + \\ &+ U_1^2 \frac{g g_1 + g_1 g_2 + g g_2}{g + g_2}. \end{aligned} \quad (8)$$

А. А. Вульф отметил, что последние члены в выражениях типа (8) представляют собой соответствующие минимальные потери при заданном напряжении на одном из концов. Они, очевидно, соответствуют тому режиму, когда оба члена в квадратных скобках обращаются в нуль. Существенно также, что для четырехполюсника сохраняется в силе известная для простейшей цепи структура формулы потерь:

$$\Delta P = f_1(P) + f_2(Q) + \Delta P_{\min} \quad (9)$$

и, следовательно, взаимная независимость потерь на передачу активной и реактивной мощности.

Один из важнейших видов четырехполюсника — линия электропередачи — отличается, как правило, тем, что проводимости ее поперечных

элементов весьма малы в сравнении с проводимостями продольных. Это позволяет при расчетах линий (в особенности, если учитываются трансформаторы на концах) пренебрегать величинами g_1 , g_2 , b_1 и b_2 там, где они складываются соответственно с g и b . Такое отступление от точных формул безусловно допустимо для передач напряжением до 220 кВ любой практически применимой длины и вносит существенные упрощения. Так, например, вместо (8) получим

$$\Delta P = \frac{r}{U_1^3} \{ [P_1 - U_1^2(g_1 + g_2)]^2 + [Q_1 - U_1^2(b_1 + \frac{b}{g}g_2)]^2 \} + U_1^2(g_1 + g_2). \quad (10)$$

Наряду с этим приближением, естественно, напрашивается еще более грубое:

$$\Delta P = \frac{r}{U_1^2} (P_1^2 + Q_1^2) + U_1^2(g_1 + g_2). \quad (11)$$

Сравнение на конкретном примере линии 220 кВ длиной порядка 200 км с трансформаторами по 120 тыс. кВА на концах при передаче мощности нетто 100—150 тыс. кВА показывает, что выражения типа (8), (10) и (11) дают соответственно:

$$\Delta P = 6340, \quad 6200 \text{ и } 6420 \text{ kW};$$

$$\Delta Q = 25000, \quad 25900 \text{ и } 32200 \text{ kVar}.$$

Выражения потерь в электропередаче типа (8) были впервые предложены проф. А. А. Вульфом (Сборник Гидроэнергопроекта, № 5, 1938), которому автор обязан за помощь при составлении настоящего сообщения.



Машина с переменными параметрами в качестве спидометра-частотомера

Кандидат техн. наук А. И. МОСКВИТИН

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

Если в системе, состоящей из подвижной и неподвижной катушек, соединенных последовательно и приключенных к сети переменного тока, присоединить согласно рис. 1 параллельно одной из катушек некоторое сопротивление (емкость, индуктивность, омическое или смешанное), то такая система (без противодействующей пружины) получает любопытное свойство, на которое обратил внимание автор настоящего сообщения: подвижная катушка самоустанавливается под определенным углом к неподвижной. Угол поворота зависит от параметров системы, величины параллельного сопротивления и от частоты питающего тока. Это явление было использовано для построения нового типа спидометра-частотомера.

Свойство самоустановки, кажущееся на пер-

вый взгляд парадоксальным, объясняется тем, что при повороте подвижной катушки изменяется индуктивность прибора, вследствие чего изменяется величина намагничивающего тока и соответственно изменяется угол сдвига фаз между токами в подвижной и неподвижной катушках. Когда этот угол становится равным 90°, механические усилия между подвижной и неподвижной катушками исчезают, и подвижная катушка фиксируется в определенном положении.

Сказанное иллюстрируют векторные диаграммы рис. 2, при составлении которых данный прибор рассматривался как однофазный поворотный автотрансформатор. Как видно из этих диаграмм, при относительно малых величинах намагничивающего тока наблюдается отталкивание катушек (рис. 2, а), а при относительно больших величинах — притяжение (рис. 2, б). Необходимо отметить, что угол 90° можно получить как при шунтировке подвижной катушки емкостью (рис. 2, в), так и при шунтировке омическим и индуктивным сопротивлением (рис. 2, д). Таким образом, данный прибор, в отличие от резонансных стрелочных частотомеров, можно построить без емкости, что, как будет показано в дальнейшем, очень важно в отношении пределов измерений и равномерности шкалы.

В отличие от резонансных приборов, имеющих максимальный предел измерения частот 1:1,5, в этой схеме достижимы значительно более широкие пределы — до 1:10. Это открывает возможность использовать прибор в качестве спидометра (тахометра).

Показания такого прибора при отсутствии на-
 сущения зависят только от частоты, а не от на-

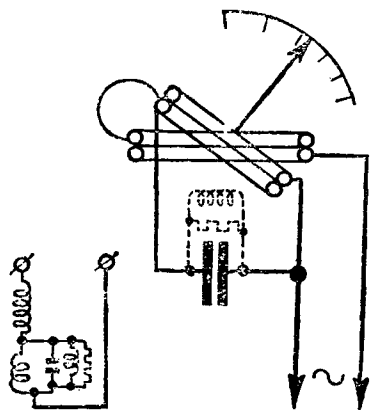


Рис. 1. Принцип устройства спидометра-измерителя частоты.

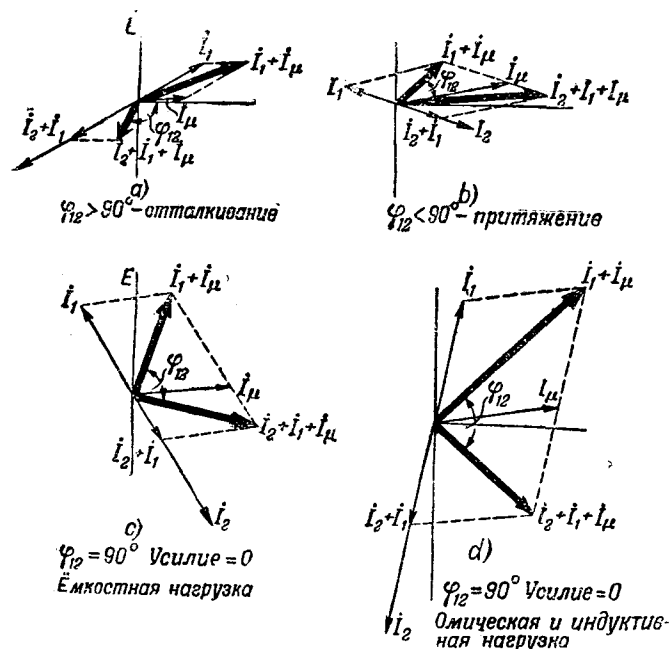


Рис. 2. Векторные диаграммы частотомера.

пряжения, благодаря чему в этой системе мало сказываются частичное размагничивание и неточность монтажа частей тахогенератора. Как одну из основных особенностей, следует отметить, что в приборе собственная переменная индуктивность не только не является помехой, как почти во всех других системах, а наоборот, используется в качестве основы работы. Поэтому нет необходимости делать эту индуктивность возможно малой по сравнению с индуктивностью схемы прибора. Можно выполнить этот прибор с малым воздушным зазором и большим числом витков, благодаря чему вращающий момент принципиально должен быть значительно больше, чем в других системах при одинаковой потребляемой мощности. Вследствие большой величины вращающего момента спидометр не нуждается в тонких осях, агатовых подпятниках и т. п. и может быть выполнен на шарикоподшипниках, по типу сельсинов, хорошо зарекомендовавших себя в условиях тряски.

Характер шкалы прибора можно уяснить, если выразить аналитически токи векторной диаграммы рис. 2 в зависимости от угла поворота и частоты сети и затем ввести условие перпендикулярности этих векторов, состоящее, как известно, в том, что угловые коэффициенты векторов должны быть взаимнообратными.

Чтобы сделать более понятным ход рассуждений, начнем с упрощенного случая шунтировки подвижной катушки одним лишь активным сопротивлением. Будем затем считать, что намагничивающий ток не имеет активной составляющей и перпендикулярен току, протекающему через шунтирующее активное сопротивление.

Намагничивающий ток обратно пропорционален частоте и индуктивности, которая (в случае сосредоточенной обмотки на роторе и статоре) при повороте ротора изменяется по линей-

ному закону. Поэтому намагничивающий ток при частоте ω и угле поворота α от положения совпадения осей катушек

$$I_{\mu} = I_{\mu 0} \frac{1}{1 - c\alpha} \frac{1}{\omega},$$

где $I_{\mu 0}$ — намагничивающий ток при частоте ω_0 и при совпадении осей катушек;

ω — относительная частота: $\omega = \frac{\omega_1}{\omega_0}$;

c — постоянный коэффициент, зависящий от коэффициента трансформации витков u_0 .

При постоянстве напряжения у клемм „нагрузочный“ ток, текущий по активному сопротивлению,

$$I_2 = I_{20} \frac{1}{u},$$

где $I_{20} = \text{const}$ и u — переменный коэффициент трансформации, зависящий от положения ротора.

Ток в подвижной обмотке I_B , согласно векторной диаграмме автотрансформатора,

$$I_B = -I_{20} \frac{1}{u} \left(1 - \frac{1}{u}\right) + j I_{\mu 0} \frac{1}{\omega} \frac{1}{1 - c\alpha}.$$

Соответственно, ток в неподвижной обмотке

$$I_A = I_{20} \left(\frac{1}{u}\right)^2 + j I_{\mu 0} \frac{1}{\omega} \frac{1}{1 - c\alpha}.$$

Условие перпендикулярности векторов:

$$\frac{I_{20} \left(\frac{1}{u}\right)^2}{I_{\mu 0} \frac{1}{\omega} \frac{1}{1 - c\alpha}} = \frac{I_{\mu 0} \frac{1}{\omega} \frac{1}{1 - c\alpha}}{I_{20} \frac{1}{u} \left(1 - \frac{1}{u}\right)}$$

или

$$\frac{1}{\omega} \frac{1}{1 - c\alpha} \sqrt{\left(\frac{1}{u}\right)^3 \left(1 - \frac{1}{u}\right)} = \frac{I_{\mu 0}}{I_{20}} = \text{const.} \quad (1)$$

Переменный коэффициент трансформации u , как нетрудно показать, изменяется в зависимости от α также по линейному закону

$$u = u_0 - b\alpha,$$

где

$$b = u_0 - 1.$$

Как видно из выражения (1), условие перпендикулярности векторов при данном виде нагрузки выполнимо только до $u = 1$, т. е. предельное отклонение ротора составляет 90° .

Шкала прибора, т. е. зависимость $\alpha = f(\omega)$, подсчитанная по формуле (1) с подстановкой значений u , представлена на рис. 3 (нижняя шкала). Как видно, при активной нагрузке шкала получается неравномерной, с большими делениями в начале.

В случае чисто индуктивной нагрузки, как нетрудно показать, положение ротора не зависит от частоты. При смешанной нагрузке—активное сопротивление параллельно индуктивному—аналогично получаем:

$$\frac{1}{\omega^2} = \frac{k_a^2 \frac{1}{u_0 - b\alpha} \left(1 - \frac{1}{u_0 - b\alpha}\right)}{\left[\frac{1}{1 - c\alpha} - k_r \left(1 - \frac{1}{u_0 - b\alpha}\right)\right] \left(k_r \frac{1}{u_0 - b\alpha} + \frac{1}{1 - c\alpha}\right)},$$

где k_a и k_r —постоянные, характеризующие величину активной и реактивной нагрузки при исходной частоте ω_0 и нулевом отклонении $\alpha=0$:

$$k_a = \frac{I_{a0}}{I_{\mu 0}}; \quad k_r = \frac{I_{r0}}{I_{\mu 0}}.$$

Подсчитанная по этой формуле шкала представлена на рис. 3 (верхняя шкала). Как видно, при этой нагрузке можно получить достаточно равномерную шкалу, пригодную для спидометра.

Можно показать, что в случае емкостной нагрузки принципиально можно получить угол поворота больше 90° , но шкала будет неравномерной. В случае смешанной нагрузки—активное сопротивление параллельно индуктивности и емкости, очевидно, можно получить достаточно равномерную широкую шкалу.

На вышеописанном принципе был построен макет прибора (из сельсина СС-405), результаты испытания которого приводятся ниже. Для сравнения приведены также показатели одного из новейших американских частотомеров авиационного типа.

Как видно, данный макет имеет показатели одного порядка с новейшими американскими приборами, за исключением: 1) пределов измерения, позволяющих применить его в качестве спидометра, и 2) величины вращающего момента, который не идет ни в какое сравнение с со-

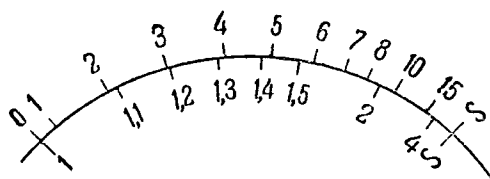


Рис. 3. Характер шкалы. Нижняя шкала—шунтировка активным сопротивлением, верхняя шкала—шунтировка параллельно соединенными индуктивным и активным сопротивлениями.

	Показателя макета	Показатели американского частотомера
Напряжение, В	93	120
Потребляемый ток, А .	0,1	0,113
Потребляемая мощность, ВА	9,3	13,6
Пределы измерения, Нз	12÷100	350÷450
Угловые размеры шкалы	~90°	87,5°
Эквивалентный устанавливающий момент полной шкалы . . .	252 gcm	0,43 gmm
Ошибка от самонагрева, %	<1	+1,1
Ошибка от повышения напряжения на 10% .	<0,5%	-1,03

ответствующим значением для американского прибора. Это понятно, если учесть приведенное выше замечание о принципиальном отличии такого прибора, в котором собственная индуктивность не является помехой, а используется как основа для измерения, вследствие чего может быть взята малая величина воздушного зазора и большое количество витков, чем достигается большой вращающий момент.

Данная работа представляет одно из практических применений работ, проводящихся в ЭНИН Академии наук СССР по электромеханике с переменными параметрами.



Преобразование электрического многоугольника в эквивалентную звезду

Инж. А. П. НОВИКОВ

Ивановский энергетический институт им. Ленина

Под электрическим полным n -угольником (многоугольником) будем подразумевать n вершин, каждая из которых соединена со всеми остальными некоторыми (неравными нулю) электрическими сопротивлениями, вообще говоря, полными сопротивлениями. Если все n вершин полного n -угольника перенумеровать в произвольном порядке числами $1, 2, 3, \dots, k, \dots, n, \dots$, то полное сопротивление, соединяющее две любые вершины, например вершину k и вершину f , получит обозначение Z_{kf} , причем $Z_{kf} = Z_{fk}$.

Под электрической n -лучевой звездой будем подразумевать n вершин, каждая из которых соединена с началом (центром) звезды некоторым полным сопротивлением. Если все вершины n -лучевой звезды перенумеровать в произвольном порядке числами $1, 2, 3, \dots, k, \dots, n$, а начало звезды обозначить значком 0 (нуль), то полное сопротивление, соединяющее любую вершину, например вершину f , с началом звезды, получит обозначение Z_{0f} , причем $Z_{0f} = Z_{f0} = Z_f$.

На рис. 1 показан электрический полный пятиугольник ($n=5$); число полных сопротив-

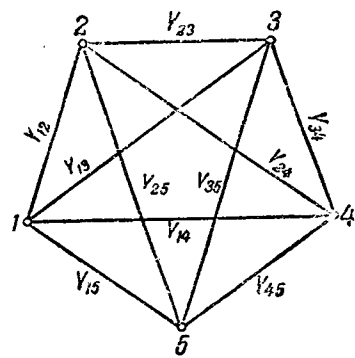


Рис. 1.

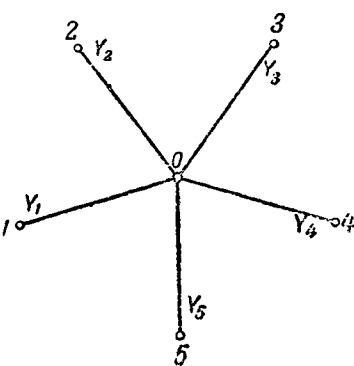


Рис. 2.

лений, его составляющих, равно $\frac{5 \cdot 4}{2} = 10$. В дальнейшем полные сопротивления, составляющие многоугольник, будем называть также сторонами многоугольника. Число сторон электрического полного многоугольника (в дальнейшем просто многоугольника), имеющего n вершин, равно

$$\frac{n(n-1)}{2}.$$

На рис. 2 показана электрическая пятилучевая звезда ($n=5$); число полных сопротивлений, ее составляющих, равно 5. В дальнейшем полные сопротивления, составляющие звезду, будем называть также лучами звезды. Число лучей электрической n -лучевой звезды (в дальнейшем просто звезды) равно n .

В дальнейшем для удобства вместо сопротивлений будем пользоваться соответствующими им проводимостями, например, вместо Z_{kf} проводимостью Y_{kf} ($Y_{kf} = Y_{fk} = \frac{1}{Z_{kf}}$), а вместо Z_{of} проводимостью $Y_{of} = \frac{1}{Z_{of}} = Y_f$.

Рассмотрим совместно n -угольник и n -лучевую звезду. Вершины n -угольника и n -звезды, имеющие одинаковый номер, будем считать одноименными или соответствующими друг другу. Приложим к вершинам n -угольника и n -звезды различные электрические потенциалы, но так, чтобы потенциалы одноименных вершин n -угольника и n -звезды были равны (для любого момента времени, если потенциалы изменяются во времени периодически). Тогда, если ток, подтекающий из внешней сети к какой-либо вершине n -угольника, например вершине k , будет равен току, подтекающему (из внешней же сети) к одноименной вершине n -звезды, т. е. к вершине k (или, что то же самое, будет равен току, текущему по лучу n -звезды), то такие n -угольник и n -звезда считаются эквивалентными.

Для того, чтобы n -угольник и n -звезда были эквивалентны, проводимости их сторон и лучей должны удовлетворять некоторым соотношениям.

Для случая $n=3$ эти соотношения были найдены А. Кеннели, который показал, что любая трехлучевая звезда может быть преобразована в эквивалентный треугольник, и наоборот [Л. 1].

Соотношения для преобразования n -лучевой звезды в эквивалентный n -угольник были даны А. Розеном, который показал также, что n -угольник, вообще говоря, не может быть преобразован в эквивалентную n -звезду [Л. 2]. Частный случай $n=4$ был рассмотрен Купфмюллером [Л. 3] и А. Горевым [Л. 4].

В настоящей работе выводятся общие условия, при которых электрический полный n -угольник ($n > 3$) может быть преобразован в эквивалентную электрическую n -лучевую звезду.

Пусть проводимости n лучей n -звезды будут равны $Y_1, Y_2, \dots, Y_k, \dots, Y_n$, т. е. сумму проводимостей всех n -лучей, т. е. сумму n слагаемых

$$Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k + \dots + Y_l + \dots + Y_m + \dots + Y_n = \sum_{k=1}^n Y_k$$

обозначим через ΣY_k .

Проводимость любой стороны n -угольника, эквивалентного данной n -звезде, определяется по общему соотношению, данному А. Розеном [Л. 2, 4]:

$$Y_{km} = \frac{Y_k Y_m}{\Sigma Y_k},$$

где Y_k и Y_m — проводимости k -луча и m -луча данной n -звезды, а Y_{km} — проводимость стороны эквивалентного n -угольника, соединяющего одноименные вершины; значение ΣY_k указано выше.

Это общее соотношение позволяет найти все $\frac{n(n-1)}{2}$ сторон эквивалентного n -угольника. Заметим, что $Y_k \neq 0$ и $Y_{km} \neq 0$ [равенство одной из этих величин нулю было бы равносильно переходу от n -вершин к $(n-1)$ вершине]. В дальнейшем будем предполагать, что $n \geq 4$.

Общее соотношение $Y_{km} = \frac{Y_k Y_m}{\Sigma Y_k}$, в котором мы будем предполагать $k < m$ ($k \neq m$, так как вершины имеют различные номера), будем представлять также и в таком виде:

$$Y_k = Y_{km} \frac{\Sigma Y_k}{Y_m}.$$

Идея следующих математических преобразований такова:

В формуле

$$Y_{km} = \frac{Y_k Y_m}{\Sigma Y_k}$$

будем заменять Y_k через $Y_k = Y_{k, k+1} \frac{\Sigma Y_k}{Y_{k+1}}$ последовательно, до тех пор, пока индексы обеих проводимостей лучей не будут одинаковыми. Получим.

$$Y_{km} = \frac{Y_k Y_m}{\Sigma Y_k} = \frac{Y_m}{\Sigma Y_k} \frac{Y_{k, k+1} \Sigma Y_k}{Y_{k+1}} = Y_{k, k+1} \frac{Y_m}{Y_{k+1}}.$$

Заметим, что после первого, т. е. нечетного, преобразования индекс k заменен индексом $k+1$, а делитель ΣY_k из правой части выпал.

Далее, заменяем Y_{k+1} через $Y_{k+1} = Y_{k+1, k+2} \frac{\Sigma Y_k}{Y_{k+2}}$, получим:

$$Y_{km} = Y_{k, k+1} \frac{Y_m}{Y_{k+1}} = \frac{Y_{k, k+1}}{Y_{k+1, k+2}} \cdot \frac{Y_m Y_{k+2}}{\Sigma Y_k}.$$

После второго, четного, преобразования индекс $k+1$ заменен индексом $k+2$, а делитель ΣY_k вновь появился в правой части.

Сделаем третье, нечетное, преобразование, заменив Y_{k+2} через

$$Y_{k+2} = Y_{k+2, k+3} \frac{\Sigma Y_k}{Y_{k+3}},$$

получим

$$\begin{aligned} Y_{km} &= \frac{Y_{k, k+1}}{Y_{k+1, k+2}} \frac{Y_m Y_{k+2}}{\Sigma Y_k} = \\ &= \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3}}{Y_{k+1, k+2} \Sigma Y_k Y_{k+3}} Y_m = \\ &= \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3}}{Y_{k+1, k+2}} \frac{Y_m}{Y_{k+3}}. \end{aligned}$$

Сделаем четвертое преобразование, заменив Y_{k+3} через

$$\begin{aligned} Y_{k+3} &= Y_{k+3, k+4} \frac{\Sigma Y_k}{Y_{k+4}}, \text{ получим } Y_{km} = \\ &= \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3} Y_m}{Y_{k+1, k+2} Y_{k+3}} = \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3}}{Y_{k+1, k+2} Y_{k+3, k+4}} \frac{Y_m Y_{k+4}}{\Sigma Y_k}. \end{aligned}$$

По предположению $k < m$ каждое преобразование увеличивает индекс на единицу, и, произведя p преобразований, мы получим, наконец, $k+p=m$, т. е. $Y_{k+p} = Y_m$ (в правой части нашей разворачивающей формулы для Y_{km} лучи звезды будут тождественны). Если p нечетно, проводимость $Y_{k+p} = Y_m$ будет в знаменателе и сократится с проводимостью $Y_m = Y_{k+p}$ (эти проводимости тождественно равны, так как являются проводимостями одного и того же луча), и мы получим соотношение, связывающее проводимости одного n -угольника. Если же p — четно, т. е. число преобразований будет четным, проводимость $Y_{k+p} = Y_m$ будет в числителе, следовательно, в числителе будет множитель $Y_{k+p} Y_m = Y_m^2$, и мы получим соотношение, связывающее квадрат проводимости произвольного луча звезды с проводимостями сторон многоугольника.

В общем виде выражение для Y_{km} после p -го преобразования будет:

А. p — нечетно; $k+p=m$; $Y_{k+p} = Y_m$; $Y_{k+p-1} = Y_{m-1}$ и т. д.,

$$Y_{km} = \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3} Y_{k+4, k+5} \dots Y_{m-3, m-2} Y_{m-1, m}}{Y_{k+1, k+2} Y_{k+3, k+4} \dots Y_{m-2, m-1}} \frac{Y_m}{Y_m}$$

или

$$1 = \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3} \dots Y_{m-3, m-2} Y_{m-1, m}}{Y_{k+1, k+2} Y_{k+3, k+4} \dots Y_{m-2, m-1} Y_{mk}}. \quad (A)$$

Б. p — четно; $k+p=m$; $Y_{k+p} = Y_m$; $Y_{k+p-1} = Y_{m-1}$ и т. д.,

$$Y_{km} = \frac{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3} \dots Y_{m-2, m-1} Y_m^2}{Y_{k+1, k+2} Y_{m-3, m-2} Y_{m-1, m} \Sigma Y_k}$$

или

$$Y_m^2 = \frac{Y_{k+1, k+2} \dots Y_{m-3, m-2} Y_{m-1, m} Y_{mk}}{Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3} \dots Y_{m-2, m-1}} \Sigma Y_k.$$

или

$$\begin{aligned} Y_m^2 &= \frac{[Y_{k+1, k+2} \dots Y_{m-3, m-2} Y_{m-1, k}] Y_{m-1, m} Y_{mk}}{[Y_{k, k+1} Y_{k+2, k+3} \dots Y_{m-2, m-1}] Y_{m-1, k}} \Sigma Y_k = \\ &= \frac{Y_{m-1, m} Y_{mk}}{Y_{m-1, k}} \Sigma Y_k. \end{aligned}$$

Взятые в квадратные скобки множители числителя и знаменателя дают согласно условию (А) единицу.

Итак, $Y_m^2 = \frac{Y_{m-1, m} Y_{mk}}{Y_{m-1, k}} \Sigma Y_k$ или, так как порядок

нумерации вершин многоугольника произволен, то

$$Y_m^2 = \frac{Y_{ml} Y_{nm}}{Y_{ln}} \Sigma Y_k, \quad (Б)$$

где

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n Y_k &= \left[\sqrt{\frac{Y_{12} Y_{31}}{Y_{23}}} + \sqrt{\frac{Y_{21} Y_{32}}{Y_{13}}} + \sqrt{\frac{Y_{31} Y_{23}}{Y_{12}}} + \dots + \right. \\ &\quad \left. + \sqrt{\frac{Y_{k, k-2} Y_{k-1, k}}{Y_{k-2, k-1}}} + \dots + \sqrt{\frac{Y_{n, n-2} Y_{n-1, n}}{Y_{n-2, n-1}}} \right]^2. \end{aligned}$$

Таким образом, если полный электрический многоугольник эквивалентен электрической звезде, то проводимости сторон многоугольника должны удовлетворять соотношению (А), а проводимости лучей звезды через проводимости сторон многоугольника будут выражаться соотношением (Б).

Условие [А] можно истолковать следующим образом. Если в произвольном контуре полного многоугольника с четным числом сторон (p — нечетно, следовательно из $k+p=m$ следует, что если k — начальная вершина контура имеет четный номер, то m — конечная вершина контура имеет нечетный номер, следовательно, число сторон контура четно) эти стороны перенумеровать по порядку, то произведение проводимостей четных сторон равно произведению проводимостей нечетных сторон¹. Этот общий результат содержит в себе условие, найденное А. Горевым для частного случая $n=4$.

Заключение. Электрический полный n -угольник ($n \geq 4$) может быть преобразован в эквивалентную электрическую n -лучевую звезду, если для любого контура с четным числом сторон, который может быть образован из сторон полного n -угольника, произведение проводимостей четных сторон равно произведению проводимостей нечетных сторон.

Литература

1. А. Kennely. El. World and Eng., p. 413, v. 34, 1899.
2. А. Rosen. IEEE (Лондон), p. 916, v. 62, 1924.
3. Kupfmüller. Archiv für Elektrotechnik, S. 162, B. 12, 1923.
4. П. Л. Калантаров. Теория переменных токов. Госэнергоиздат, стр. 115, 1940.

¹ Достаточность условия следует из того, что, например,

$$\frac{C_{n(n-1)}^4}{2} > \frac{n(n-1)}{2}.$$



Ферродинамический компенсационный логометр

Кандидат техн. наук В. О. АРУТЮНОВ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Описываемый прибор представляет собой логометр переменного тока ферродинамической или электродинамической системы, основанный на принципе компенсации двух э. д. с., одна из которых, компенсируемая, создается той или иной измерительной схемой, а вторая, компенсирующая, в самом логометре.

На рис. 1 показана общая принципиальная схема ферродинамического компенсационного логометра. F — ярмо ферродинамического прибора с неподвижными намагничивающими обмотками W , создающими в воздушном зазоре равномерный магнитный поток. В этом зазоре перемещается подвижная бескаркасная рамка s , ток к которой подводится через безмоментные подводы, не создающие механического момента на оси подвижной части. На ярмо намотана дополнительная обмотка w , замкнутая на сопротивление r , ток в котором регулируется изменением сопротивления r_0 . Цепь подвижной рамки замыкается через измерительную схему A , в которой действием некоторой измеряемой величины Q создается э. д. с. E_x , находящаяся в определенной однозначной зависимости от этой измеряемой величины. В качестве такой измерительной схемы может быть применен, например, мост переменного тока, с диагонали которого снимается напряжение E_x . Как схема A , так и прибор F питаются от одной и той же сети переменного тока U . Работа логометра совершается следующим образом: под действием E_x в цепи подвижной рамки возникает ток I_g , взаимодействующий с потоком Φ_s в зазоре и заставляющий рамку s сдвинуться со своего нейтрального положения, когда плоскость рамки совпадает с осью OO . При повороте рамки в ней индуцируется э. д. с. E_a , тем большая, чем больше угол отклонения рамки. Электродвижущая сила E_a компенсирует

э. д. с. E_x . В некотором положении наступает равновесие, характеризующееся отсутствием активной составляющей тока в рамке¹. Этому положению равновесия соответствует некоторое отклонение α , которое может служить мерой э. д. с. E_x . Электродвижущая сила E_x определенным образом зависит от измеряемой величины и шкалу можно градуировать в единицах этой величины.

Прибор и измерительная схема питаются от одной и той же сети, поэтому колебания напряжения этой сети в известных пределах не отражаются на показаниях прибора. Дополнительная обмотка w служит для смещения нулевого положения стрелки с середины шкалы к ее краю. Затем путем изменения сопротивления r_0 она дает возможность корректировать нулевое положение стрелки. Если связать сопротивление r_0 с винтом корректора, расположенным обычно на корпусе прибора, то возможно производить коррекцию нуля так же, как это осуществляется в обычных измерительных приборах.

Отклонение α стрелки компенсационного логометра связано с измеряемой величиной Q соотношением:

$$\alpha = \frac{E_x r_g \cos \delta + x_g \sin \delta}{\omega \Phi_s x_g} = \frac{r_g \cos \delta + x_g \sin \delta}{c \omega x_g} f(Q), \quad (1)$$

где r_g и x_g — активное и реактивное сопротивление цепи рамки; δ — угол сдвига фаз между потоком Φ_s в зазоре и измеряемой э. д. с. E_x ; ω — круговая частота; c — коэффициент пропорциональности между Φ_s и напряжением U .

Исследование этого уравнения приводит к следующим результатам.

1. При $\delta = (2k + 1) \frac{\pi}{2} + \varphi$, где $\varphi = \arctg \frac{x_g}{r_g}$ и k — целое число, прибор становится нечувствительным к изменениям E_x . Практически это означает, что при выборе измерительной схемы следует позаботиться, чтобы $\delta \neq \frac{\pi}{2} + \varphi$ и $\delta \neq \frac{3\pi}{2} + \varphi$.

2. Электродвижущая сила E_x в рамке точно равна E_a , если $\frac{r_g \cos \delta}{x_g} + \sin \delta = 1$.

Если $x_g = r_g$, как это требуется для получения наибольшего устанавливающего момента (ниже), то равенство $E_a = E_x$ соблюдается при $\delta = k \frac{\pi}{2}$, т. е. практически для четырех значений угла δ : 0; $\frac{\pi}{2}$; π ; $\frac{3\pi}{2}$. При этом в случае

¹ Здесь и далее под активной составляющей тока подразумевается составляющая, совпадающая по фазе с потоком Φ_s в зазоре.

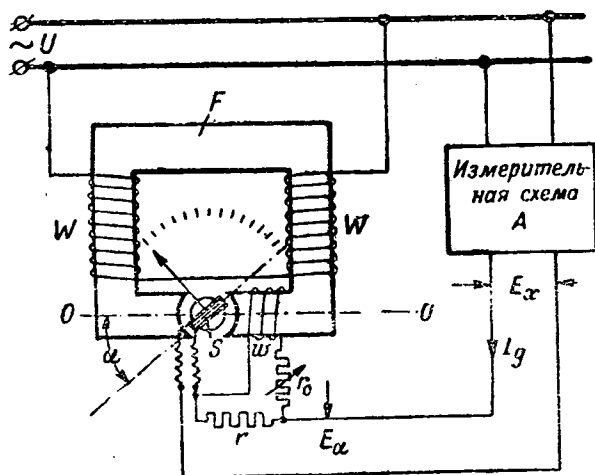


Рис. 1.

$\delta = \frac{\pi}{2}$ и $\delta = \frac{3\pi}{2}$ при равновесии имеет место полная компенсация тока в цепи рамки, т. е. равна нулю не только активная, но и реактивная часть этого тока.

3. Максимум отклонения α , или наибольшая чувствительность прибора, имеет место при $\delta = \varphi$, и тогда

$$\alpha = E_x \frac{\sqrt{x_g^2 + r_g^2}}{x_g \omega \Phi_s}. \quad (2)$$

4. При углах δ , лежащих в пределах от $\delta = \frac{\pi}{2} + \varphi$ до $\delta = \frac{3\pi}{2} + \varphi$, α имеет обратный знак и отклонение стрелки происходит в обратную сторону.

Удельный устанавливающий момент

$$M_\alpha = -\frac{\omega \Phi_s^2 x_g}{r_g^2 + x_g^2} \quad (3)$$

и достигает наибольшего значения при $x_g = r_g$.

Таким образом, если соблюдать условие наибольшей чувствительности ($\delta = \varphi$) и условие наибольшего устанавливающего момента ($r_g = x_g$), для отклонения α получим выражение:

$$\alpha = \sqrt{2} \frac{E_x}{\omega \Phi_s}. \quad (4)$$

Соответственно для удельного устанавливающего момента

$$M_\alpha = -\frac{\omega \Phi_s^2}{2x_g}. \quad (5)$$

Следовательно, при составлении схемы А (рис. 1) и расчете самого прибора следует позаботиться, чтобы соблюдались указанные выше два условия. Из (3) видно, что устойчивое равновесие имеет место при $\varphi > 0$ и любых углах δ . При наличии же емкостной нагрузки в цепи рамки ($\varphi < 0$) равновесие неустойчиво. Практически при выборе элементов схемы А (рис. 1) следует поэтому предусмотреть, чтобы цепь рамки содержала индуктивное сопротивление.

Удельный устанавливающий момент пропорционален мощности, потребляемой обмотками возбуждения, и именно наибольшей допустимой мощности, иначе говоря, перегревом этих обмоток, главным образом, и лимитируется вращающий момент прибора.

Как показывают подробные расчеты, а также произведенные автором эксперименты и испытания некоторых конструкций, в измерительных механизмах среднего размера можно получить моменты, позволяющие применять эти механизмы в качестве самопишущих (с непрерывной записью). Так, например, для измерительного механизма самопишущего прибора нормальной конструкции можно получить вращающий момент при отклонении на угол 90° около $4,0 \text{ гсм/В}$, что при мощности только в 5 В дает уже момент почти в 20 гсм — величину, более чем достаточную для надежной работы прибора в качестве самопишущего.

Для показывающих приборов нет необходимости изготавливать измерительный механизм та-

ких сравнительно больших размеров; в механизмах нормальной конструкции достигаемые моменты в большинстве случаев совершенно достаточны для надежной работы прибора. Автор имел возможность построить подобный логометр на базе прибора с диаметром корпуса 80 мм и получил при этом момент около $200 \text{ мгсм/90}^\circ$, что значительно превосходит необходимую для такого прибора величину.

Компенсационный логометр обладает рядом существенных преимуществ, которые выгодно отличают его от других логометров. К ним относятся: а) наличие только одной подвижной обмотки², что упрощает конструкцию, а также условия регулировки и снижает стоимость прибора; б) постоянство воздушного зазора, в котором перемещается рамка, в отличие от обычных ферродинамических логометров. Необходимая же зависимость вращающего момента от положения подвижной части достигается тем, что используется э. д. с., индуктированная в рамке логометра; в) возможность измерения компенсационным логометром самых разнообразных величин: частоты, индуктивности, неэлектрических величин и т. п., не прибегая к каким-либо конструктивным изменениям; г) простота коррекции нулевого положения стрелки, чего невозможно или весьма трудно достигнуть в логометрах с двумя рамками и неравномерным магнитным полем; д) возможность осуществления шкалы с нулевой отметкой слева или в середине без каких-либо конструктивных изменений; е) возможность осуществления компенсационного логометра из обычных ферродинамических приборов любой конструкции путем замены нормальных противодействующих пружин безмоментными подводками.

ПРИЛОЖЕНИЕ

На рис. 2 показана векторная диаграмма компенсационного логометра. Она построена в предположении, что дополнительная обмотка ω отсутствует и что нулевая отметка находится в середине шкалы. Направим вдоль оси вещественных величин поток в зазоре прибора Φ_s . Пусть э. д. с. E_x направлена под углом δ к потоку. Создаваемый этой э. д. с. ток I_g отстает от E_x на угол φ , величина и знак которого определяются соотношением между r_g и x_g . Активная составляющая I_a тока I_g создает вращающий момент M , под действием которого рамка отклоняется от своего нейтрального положения. В рамке индукти-

руется э. д. с. E_α (рис. 2, б), отстающая по фазе на угол $\frac{\pi}{2}$

от потока Φ_s . Вследствие появления э. д. с. E_α величина

и положение вектора тока I_g теперь уже изменятся: ток будет определяться геометрической суммой э. д. с. E_α и E_x . Поскольку r_g и x_g цепи рамки мы полагаем неизменными (или почти неизменными) в процессе работы прибора, новый ток I_g (рис. 2, б) будет расходиться на тот же угол φ с суммарной э. д. с. ΣE . При дальнейшем повороте рамки прибора E_α будет расти до тех пор, пока ток I_g в рамке не совпадет по фазе с E_α (рис. 2, в) и пока его активная составляющая I_a не станет равной нулю. В этом положении рамки момент M будет равен нулю, и рамка будет находиться в положении устойчивого равновесия.

² В нормальных логометрах необходимо иметь две скрещенные обмотки, подвижные или неподвижные.

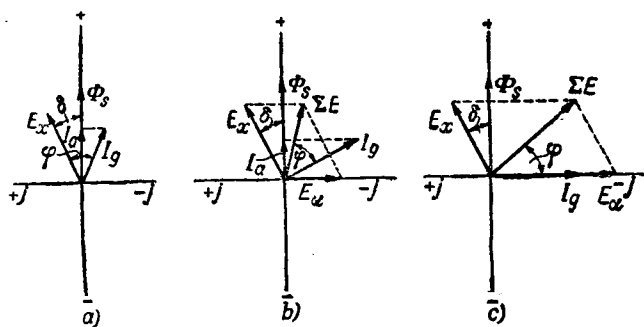


Рис. 2. *a*—начальный момент работы компенсационного логометра; *b*—промежуточное положение—рамка отклонилась, но не достигла положения равновесия; *c*—положение равновесия $I_a = 0$; I_g —сдвинуто по фазе на 90° относительно Φ_s .

Величина э. д. с. E_a может быть найдена из следующих выражений: при отклонении рамки на угол α мгновенное значение потока Φ_{st} , пронизывающего рамку,

$$\Phi_{st} = \alpha B_m s \omega \sin \omega t,$$

где B_m —амплитудное значение плотности магнитного потока в зазоре; s —площадь рамки; ω —число витков на ней. Тогда мгновенное значение э. д. с. в рамке

$$E_{at} = -\frac{d\Phi_{st}}{dt} = -\alpha \omega B_m s \omega \cos \omega t.$$

Переходя к комплексному изображению, найдем для амплитуды E_a выражение

$$E_a = -j\omega \Phi_1 \alpha = -jE_\alpha, \quad (1)$$

где

$$\Phi_s = B_m s \omega.$$

Ток цепи рамки

$$I_g = \frac{\dot{E}_x + \dot{E}_a}{Z_g},$$

где

$$\dot{E}_x = E_x (\cos \delta + j \sin \delta).$$

Подставляя значения \dot{E}_x и \dot{E}_a в выражение для тока, находим:

$$\dot{I}_g = \frac{E_x \cos \delta + j(E_x \sin \delta - E_\alpha)}{r_g + jx_g}.$$

Освобождаясь от мнимости в знаменателе, получим:

$$\dot{I}_g = I_a + jI_r = \frac{r_g E_x \cos \delta + x_g (E_x \sin \delta - E_\alpha)}{r_g^2 + x_g^2} + j \frac{-x_g E_x \cos \delta + r_g (E_x \sin \delta - E_\alpha)}{r_g^2 + x_g^2}.$$

Активная составляющая I_a тока I_g создает момент

$$M = I_a \Phi_s = \Phi_s \frac{r_g E_x \cos \delta + x_g (E_x \sin \delta - E_\alpha)}{r_g^2 + x_g^2}. \quad (2)$$

Положение равновесия наступает в момент, когда $M = 0$. Приравняв (2) нулю, найдем:

$$r_g E_x \cos \delta + x_g (E_x \sin \delta - E_\alpha) = 0.$$

Отсюда

$$E_\alpha = E_x \frac{r_g \cos \delta + x_g \sin \delta}{x_g}.$$

Заменяя E_α через равное ей $\omega \Phi_s \alpha$, получим:

$$\alpha = \frac{E_x}{\omega \Phi_s} \frac{r_g \cos \delta + x_g \sin \delta}{x_g}. \quad (3)$$

Предполагая, что схема *A* составлена из элементов, не искажающих (или почти не искажающих) линейной зависимости тока от напряжения, для э. д. с. E_x можно написать:

$$E_x = U f(Q),$$

где Q —измеряемая величина, для которой построена измерительная схема *A* (рис. 1). При правильном выборе размеров ярма и воздушного зазора прибора легко можно достигнуть прямолинейной зависимости между Φ_s и U в некоторых, наперед заданных пределах изменения напряжения U . Поэтому в первом приближении можно считать

$$\Phi_s = cU.$$

Подставляя полученное в (3), находим:

$$\alpha = \frac{r_g \cos \delta + x_g \sin \delta}{c \omega x_g} f(Q).$$

Этот же результат может быть получен и другим путем, а именно из условия равенства моментов, создаваемых двумя токами—током от э. д. с. E_x и током от э. д. с. E_a , что между прочим приводит к зависимости отклонения подвижной системы прибора от отношения этих токов. Это обстоятельство оправдывает название «логометр», данное автором описываемому прибору.

Удельный устанавливающий момент может быть получен дифференцированием (2) по α .



Технический отдел Министерства электростанций СССР и Главэлектроремонт Министрства строительства предприятий тяжелой индустрии СССР совместно с Министерством строительства топливных предприятий СССР, Министерством коммунального хозяйства РСФСР и Государственной инспекцией по промэнергетике и энергонадзору при МЭС разрабатывают „Правила устройства электротехнических установок сильного тока“.

По мере разработки отдельных разделов „Правил“ и утверждения их соответствующими организациями они будут опубликовываться для руководства. Рассмотрение „Правил“ в целом предполагается произвести на Всесоюзном совещании инженеров-электриков, которое подготавливается ВНИТОЭ.

В связи с этим и в целях ознакомления широкой научно-технической общественности с теми разделами „Правил“, которые содержат новые принципиальные положения, эти разделы будут опубликовываться на страницах журнала „Электричество“.

В настоящем номере журнала помещаются „Руководящие указания по проектированию электрических систем“, разработанные по заданию Технического отдела Министерства электростанций кафедрой „Электрические станции“ Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова. Окончательная редакция этих „Руководящих указаний“ выполнена комиссией в составе: проф. А. А. Глазунова (председатель), проф. П. Г. Грудинского, инж. Ю. В. Баскакова, инж. А. А. Куликовского и инж. Ф. П. Лашкова, рассмотрена Техническим советом и утверждена зам. начальника Технического отдела МЭС канд. техн. наук И. А. Сыромятниковым.

Возможные запросы и предложения, связанные с новыми „Руководящими указаниями“, следует направлять в Технический отдел Министерства электростанций СССР (Москва, Китайский проезд, д., № 7).

Руководящие указания по проектированию электрических систем

Глава I. Определения и область применения

1. Энергетической системой называется совокупность электростанций, подстанций и приемников электроэнергии, связанных между собой линиями электрической сети.

2. Электрической системой называется часть энергетической системы, состоящая из генераторов, распределительных устройств, повысительных и понизительных подстанций, линий электрической сети и приемников электроэнергии.

3. Электрическими сетями называются части электрической системы, состоящие из подстанций и линий различных напряжений. Электрические сети различаются по напряжению.

4. Настоящие руководящие указания не относятся к сетям систем с номинальным напряжением ниже 1 кВ.

5. Настоящие руководящие указания относятся ко вновь сооружаемым, реконструируемым и расширяемым электрическим системам.

6. Во всех случаях, особо не оговоренных, кроме настоящих руководящих указаний, действуют правила технической эксплуатации и другие относящиеся к данному вопросу директивные указания Министерства электростанций СССР.

Глава II. Основные положения проектирования сетей электрических систем

7. Проектирование новых электрических сетей и их реконструкция должны вестись с учетом перспективного развития энергосистемы на ближайшие 5—10 лет.

8. Электрическая сеть должна обеспечивать использование резервов активной и реактивной мощностей энергетической системы, которые в периоды соответствующих максимальных нагрузок должны составлять не менее 10%.

9 Электричество, № 10.

Резервная мощность должна быть при этом такой, чтобы при выходе из работы наиболее мощного агрегата была обеспечена возможность поддержания номинальной частоты без отключения потребителей. Величина и размещение резерва активной мощности, а также величина и размещение генераторов реактивной мощности определяются проектом электрической системы.

9. При выборе источников покрытия реактивной нагрузки рекомендовать широкое применение статических конденсаторов.

10. При проектировании электрической сети необходимо рассмотреть наиболее характерные нормальные режимы ее работы, обусловленные изменением эксплуатационных режимов электростанций и потребителей.

Режимы, связанные с плановыми ремонтами основного оборудования электростанций и подстанций и линий электрических сетей, относятся к нормальным эксплуатационным режимам.

11. При проектировании сети электрической системы должны быть рассмотрены и аварийные режимы, к которым относятся:

1) Аварийный выход из работы машин на электростанциях, в том числе и наиболее мощного агрегата:

а) При числе машин в энергосистеме или на станции, не превышающем 8—10, предполагается аварийный выход из работы одной машины.

При числе машин в системе или на станции 5 и более учитывается совпадение аварийного выхода одной машины с плановым ремонтом машин.

б) При числе машин в энергосистеме, превышающем 8—10, необходимо считаться с одновременным аварийным простоем двух агрегатов. Кроме того, учитывается совпадение аварийного выхода из работы одного агрегата с плановым ремонтом машин.

в) При числе машин в энергосистеме 20 и более принимается одновременный аварийный простой 3 машин суммарной мощностью, не превышающей 10% от максимума нагрузки.

В периоды проведения плановых ремонтов учитывается совпадение аварийного выхода двух машин с капитальными ремонтами машин.

В аварийных режимах при выходе из работы нескольких машин не следует задаваться наиболее тяжелыми сочетаниями аварий, а именно—одновременным повреждением наиболее крупных агрегатов, повреждением нескольких машин на одной электростанции или в одной части системы. Расчетными режимами в таких случаях должны являться режимы, соответствующие аварийному выходу машин средней мощности и равномерному распределению аварийных агрегатов в системе.

2) Аварийный выход синхронных компенсаторов. Совпадение аварий двух или нескольких компенсаторов не рассматривается. Аварийное состояние статических конденсаторов также не рассматривается.

3) Аварийный выход из работ участков сети. Одновременное аварийное отключение нескольких участков сети, а также совпадение аварий агрегатов на электростанциях с аварийными отключениями участков сети не рассматриваются.

В развитых сетях допускается учитывать совпадение плановой ревизии линии с аварийным выходом из работы одной из линий, находящейся в другом районе.

12. Электрические системы должны удовлетворять требованиям статической устойчивости как в нормальных условиях, так и в послеаварийном режиме при отключении отдельных генераторов или транзитных линий электропередачи.

Во всех случаях должно применяться автоматическое регулирование возбуждения, причем часть этих устройств должна обеспечивать работу в зоне искусственной устойчивости.

Расчет статической устойчивости должен производиться по внутреннему пределу мощности.

13. Для повышения надежности электроснабжения и повышения динамической устойчивости необходимо применять возможно более быстрое отключение коротких замыканий, допуская в некоторых случаях неселективное отключение.

14. По степени ответственности электроснабжения потребители делятся на следующие три категории:

Категория I. Ответственные нагрузки, для которых перерыв подачи электроэнергии связан с опасностью для жизни людей, браком продукции, порчей оборудования, длительной остановкой предприятия для восстановления технологического процесса, нарушением работы электрифицированного транспорта и расстройством жизни крупного города.

Категория II. Ответственные нагрузки, для которых перерыв электроснабжения связан только с существенным недоотпуском продукции.

Категория III. Неответственные нагрузки, как-то: сельскохозяйственные районы, вспомогательные цехи заводов, небольшие и односменные кустарные предприятия, некоторые виды коммунальных нагрузок и т. п.

Глава III. Коммутация электрических сетей

15. Коммутационная схема сети должна проектироваться нераздельно с коммутационной схемой электрической системы, т. е. с учетом схем коммутации станций и подстанций. При этом число, мощность и расположение отдельных узлов должны выбираться так, чтобы выход из работы отдельного узла не приводил к полному нарушению работы системы.

16. При проектировании электрических сетей выбор числа, мощности и расположения подстанций должен быть обоснован технико-экономическими расчетами. В этих подсчетах необходимо учесть влияние числа и расположения подстанций на вторичные сети, отходящие от проектируемых подстанций.

При перспективном проектировании основной сети энергетической системы на 5 и более лет вперед выбор числа и расположения понижающих подстанций может осуществляться на основании общих соображений о числе и мощности потребителей.

В целях сокращения потерь электроэнергии и экономии проводниковых материалов подстанции должны быть расположены возможно ближе к центрам потребления.

17. Напряжение электрической сети должно быть обосновано технико-экономическими подсчетами. При равенстве показателей или небольших преимуществах сети низшего напряжения предпочтение должно быть отдано сети более высокого напряжения.

18. При проектировании электрических сетей надежность питания нагрузок должна выбираться в соответствии с категориями этих нагрузок:

1) Нагрузки категории I должны быть обеспечены питанием при нормальных и аварийных режимах сети.

2) Степень резервирования питания нагрузок категории II определяется технико-экономическими соображениями.

3) Нагрузки категории III резервным питанием могут не обеспечиваться.

19. При проектировании электрической сети должно предусматриваться широкое применение автоматического повторного включения и автоматического ввода резерва, а также использование современных типов релейной защиты.

20. Одиночные радиальные линии 35—110 kV на деревянных опорах, питающие нагрузки категории II, должны выполняться в конструкции, допускающей осмотр и замену частей опор без отключения линий.

21. Устройство выводов с подстанций линий 110 kV должно, как правило, допускать ремонты и осмотры аппаратуры без отключения линий.

Такое же устройство выводов линий 35 kV желательно при конструкциях опор этих линий, допускающих производство ремонта под напряжением.

22. Питание отдельных потребителей может осуществляться присоединением их подстанций на ответвлениях (отпайках) с установкой на ответвлениях разъединителей. Сооружение отпайек разрешается как от одиночных, так и от параллельных линий.

Количество и протяженность отпайек устанавливаются в зависимости от значения линий системы, от которых делаются отпайки, и ответственности подключаемых потребителей.

23. Связь между электрическими системами может выполняться одной линией, когда отключение этой связи не приводит к нарушению работы разделившихся систем.

Глава IV. Выбор сечений и материала проводов воздушных линий сильного тока

24. Экономически целесообразные сечения проводов воздушных линий определяются, исходя из экономических плотностей тока, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Экономические плотности тока (А/мм²)

Продолжительность использования максимума активных нагрузок	Экономические плотности тока (А/мм ²)		
	До 3 000 ч	От 3 000 до 5 000 ч	Свыше 5 000 ч
Материал проводов			
Медь	2,50	1,75	1,25
Алюминий	1,50	1,00	0,75

25. В сетях 3—35 kV минимальные сечения проводов, исходя из условий короны, не ограничиваются.

В сетях 110 kV провода должны иметь диаметр не менее 10,6 мм, в сетях 154 kV не менее 14 мм, в сетях 220 kV не менее 25 мм.

Приведенные значения диаметров проводов, возможных к применению на линиях 110—220 kV, относятся к случаям прокладки линий на отметках, относительно близких к отметке уровня моря. В горных районах наименьшие диаметры проводов определяются, исходя из равенства критических напряжений короны для указанных выше диаметров проводов на уровне моря и выбираемых проводов на отметках проектируемой линии.

26. Выбранные сечения проводов воздушных линий должны быть проверены по условиям допустимого нагрева проводов. Допускаемая температура проводов устанавливается 70° С. Эта температура не должна быть

превыждена ни при нормальных, ни при аварийных режимах работы системы.

За расчетную температуру окружающего воздуха принимается температура в 25°C .

Допускаемые токовые нагрузки на провода воздушных линий при указанных выше температурах проводов и окружающего воздуха приведены в табл. 2.

Таблица 2

Допускаемые нагрузки медных, алюминиевых и сталалюминиевых проводов (допускаемый нагрев $+70^{\circ}\text{C}$; температура воздуха $+25^{\circ}\text{C}$)

Марки проводов	Длительно допускаемые нагрузки, А	Марки проводов	Длительно допускаемые нагрузки, А	Марки проводов	Длительно допускаемые нагрузки, А
М-4	50	А-16	105	АС-35	170
М-6	70	А-25	135	АС-50	220
М-10	95	А-35	170	АС-70	275
М-16	130	А-50	215	АС-90	335
М-25	180	А-70	265	АС-120	380
М-35	220	А-95	325	АС-150	445
М-50	270	А-120	375	АС-185	515
М-60	315	А-150	440	АС-240	610
М-70	340	А-185	500	АСУ-300	710
М-95	415			АСУ-400	865
М-120	485				
М-150	570				
М-185	645				
М-240	770				

27. Провода воздушных линий по токам короткого замыкания не проверяются.

28. Выбранные сечения проводов должны обеспечивать на шинах подстанций необходимые уровни напряжений. Увеличение сечений проводов по условиям регулирования напряжения должно быть оправдано экономически.

Глава V. Регулирование и уровни напряжений и частоты в электрических системах

29. При нормальных режимах работы системы на шинах станций и на шинах вторичного напряжения (3—10 кВ) подстанций 110 кВ и выше, а также подстанций 35 кВ, к которым присоединены протяженные сети, питающие потребителей с большими колебаниями нагрузки, должно быть обеспечено встречное регулирование напряжения в пределах от 0% до $+5\%$ от номинального напряжения сети.

Под встречным регулированием напряжения понимается такое регулирование, при котором на рассматриваемых шинах в часы максимума нагрузки поддерживается повышенное, а в часы минимума нагрузки пониженное напряжение.

При аварийных режимах работы электрической системы напряжения на шинах 3—10 кВ станций и районных подстанций в периоды максимальных нагрузок не должны быть ниже номинального напряжения сети.

При отключениях устройств для регулирования напряжения в пределах одной подстанции напряжения на шинах 3—10 кВ станций и районных подстанций не должны выходить за пределы:

а) При нормальных режимах системы $+2,5\%$ в периоды максимальных нагрузок и $+7,5\%$ в периоды минимальных нагрузок по отношению номинального напряжения сети. При плановых ремонтах в системе, вызывающих наиболее тяжелые режимы по напряжениям, нижний предел при максимальных нагрузках может быть принят равным номинальному напряжению сети.

б) При аварийных режимах системы в периоды максимальных нагрузок $-2,5\%$ по отношению номинального напряжения сети.

30. Регулирование напряжений в аварийных режимах путем изменения напряжения на генераторах допускается в энергетических системах с небольшим числом электростанций.

В крупных энергосистемах регулирование напряжения генераторами может использоваться только в случаях аварийного и планового отключения линий основной сети системы. При авариях во вторичных и третичных сетях поддержание напряжения в нужных пределах путем изменения напряжения на генераторах допускается только для станций, работающих в данных сетях.

31. При выборе средств регулирования напряжения необходимо учитывать возможность установки статических конденсаторов.

32. Установка синхронных компенсаторов мощностью менее 5 тыс. кВА не рекомендуется.

33. Для регулирования напряжения рекомендуется широкое использование трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой с диапазоном регулирования 15—20%. На районных понизительных подстанциях трансформаторы, как правило, должны иметь регулирование напряжения под нагрузкой.

34. Регулирование напряжения перестановкой ответвлений на трансформаторах разрешается только при сезонных изменениях режимов работы систем. Регулирование напряжения перестановкой ответвлений разрешается также на повысительных трансформаторах станций при проведении на этих станциях плановых ремонтов основного оборудования.

35. При выборе средств регулирования напряжения должна учитываться возможность отключения трансформаторов на подстанциях при нагрузках, меньших экономической нагрузки трансформаторов.

36. При выборе средств регулирования напряжения в электросистемах необходимо учитывать преимущества независимого регулирования напряжения в отдельных электросистемах и в их частях, достигаемого путем установки на соединительных линиях бустертрансформаторов.

37. При наличии отдельных потребителей, предъявляющих особо жесткие условия в отношении поддержания напряжения, рекомендуется применение местного регулирования напряжения с тем, чтобы остальная часть системы могла вестись в режимах напряжения, предписываемых п. 29 настоящих руководящих указаний.

38. Выбор типов дополнительных средств регулирования напряжения в электрических системах должен быть обоснован технико-экономическими соображениями.



В Министерстве электростанций СССР

К пуску первого агрегата Днепрогэс им. Ленина. За 28 мес. выполнен большой объем строительных работ по восстановлению Днепрогэс. Разобрано до 220 тыс. м³ завалов взорванного бетона, поднято 14 тыс. т металлоконструкций, 10 500 т различного оборудования и пр. Запущено было уложено более 12 тыс. м³ бетона, изготовлено и смонтировано более 5 300 т металлоконструкций.

До последнего времени на Днепрострое значительно отставали работы по гидроизоляции напорной грани плотины, по осмотру подводной части гидроэлектростанции и электромонтажные работы по первому агрегату и по открытой подстанции.

На эти недостатки строительства обратила внимание коллегия министерства, обязавшая руководство Днепростроя пересмотреть графики производства работ с тем, чтобы обеспечить в соответствии с решением правительства пуск первого агрегата в декабре 1946 г.

Приказ министра электростанций о мерах борьбы с аварийностью. В первом полугодии 1946 г. работали безаварийно 13 тепловых электростанций, 11 гидроэлектростанций, 9 районов электросетей энергосистем Министерства электростанций.

Однако, в первом полугодии 1946 г. на ряде электростанций и в электросетях значительно возросло по сравнению с соответствующим периодом 1945 г. количество аварий с недоотпуском электроэнергии, что привело к серьезным перебоям электроснабжения потребителей.

Основная причина роста аварийности на электростанциях и в электросетях — недостаточная борьба с авариями, ослабление дисциплины эксплуатационного и ремонтного персонала, в результате чего ряд противоаварийных мероприятий, предписанных приказами министерства, не осуществлен.

В первом полугодии 1946 г. в электроцехах станций произошло 165 аварий, на подстанциях и в электросетях — 429. Из 33 различных повреждений силовых кабелей произошло 119 аварий, из-за повреждения проводов линий электропередачи — 57 аварий, неисправности релейной защиты и вторичной коммутации — 55 аварий. В силовых трансформаторах было 43 аварии, на оборудовании РУ — 36 аварий, с масляными выключателями — 30 аварий, по генераторам и синхронным компенсаторам — 22 аварии и пр.

Немало аварий с электрическим оборудованием произошло из-за отсутствия своевременной профилактики. Так, на одной из подстанций Свердловэнерго во время тумана и морозящего дождя были перекрыты изоляторы разъединителей 35 кВ. Расследованием установлено, что эти изоляторы находились в эксплуатации 14 лет и ни разу не подвергались профилактическим испытаниям.

С апреля по июль 1946 г. имели место 59 грозозависимых аварий, в том числе 8 аварий в системе Мосэнерго. Причиной роста грозозависимых аварий является недостаточная и несвоевременная профилактика противогрозовой защитной аппаратуры.

Анализ аварийности показал, что 53,5% аварий произошло исключительно по вине персонала.

В целях развертывания решительной борьбы с авариями и аварийщиками министр электростанций Д. Г. Жимерин издал специальный приказ, в котором изложены главные мероприятия по снижению аварийности. Приказом министра предложено:

- а) закончить в 1946 г. ввод в работу автоматических регуляторов напряжения на генераторах и компенсаторах;
- б) в течение 1946—1947 гг. на всех электростанциях смонтировать и сдать в работу автоматическое включение резерва

источников питания собственных нужд; в) установить действующие защиты линий электропередачи; г) в течение 1946—1947 гг. установить автоматы повторного включения на всех линиях 35 кВ и выше; д) выполнить работы по подводу чистого воздуха для вентиляции электродвигателей.

Развитие электросетей и подстанций в новой пятилетке. Приказом министра электростанций Д. Г. Жимерина установлена программа строительно-монтажных работ вновь организованного в министерстве Главного управления по строительству электросетей (Главэлектросетьстрой).

В течение новой пятилетки предприятия Главэлектросетьстроя должны построить всего 20 тыс. км высоковольтных линий электропередачи, смонтировать на районных подстанциях и электростанциях трансформаторов на 7 000 тыс. кВА и генераторов на 4 000 тыс. кВА.

Этот значительный объем строительно-монтажных работ по развитию сетей и подстанций будет выполняться при максимальной механизации строительно-монтажных работ с созданием собственных производственных баз Главэлектросетьстроя. Предприятия Главэлектросетьстроя будут оснащены буровыми машинами, столбоставами, телескопическими вышками, раскаточными тележками и монтажным инструментом. В ряде районов страны (Сталинграде, Ленинграде и на Урале) будут восстановлены мачтопропиточные заводы.

Проектным организациям Министерства электростанций поручено разработать и представить на утверждение в министерство типовые проекты сборных железобетонных фундаментов для анкерных и угловых опор, проекты металлических двухцепных опор с минимальным по периметру основанием и максимальной транспортабельностью, проекты металлических подножников для анкерных и угловых опор линий электропередачи 110 и 220 кВ.

Всесоюзный конкурс 1946 г. по экономии электроэнергии. Государственная инспекция по промэнергетике и энергонадзору при Министерстве электростанций по примеру прошлых лет проводит в 1946 г. всесоюзный конкурс на лучшее предложение по экономии электрической и тепловой энергии.

На конкурс 1945 г. поступило 1 077 предложений, из которых постановлением жюри было премировано 83 предложения и поощрено 76 предложений. Годовая экономия по лучшим предложениям 1945 г. достигает 50 млн. кВт·ч. Конкурс 1946 г. проводится на прежних условиях и ставит своей задачей привлечь передовую техническую мысль к разработке новых методов экономии электрической и тепловой энергии во всех отраслях народного хозяйства СССР.

Жюри конкурса рекомендовало всем промышленным предприятиям, научно-исследовательским и учебным институтам, лабораториям и др. создать на местах комиссии содействия этому конкурсу. Задача комиссий — выявление предложений, популяризация конкурса, организация консультаций для всех интересующихся конкурсом, оказание помощи в оформлении предложений, чертежей, производстве расчетов и испытаний, разработка и опубликование темников предложений по экономии электроэнергии в применении к данной отрасли или на данном предприятии.

Жюри конкурса признало особо важным участие в нем институтов Академии наук СССР, научно-исследовательских и учебных институтов и научных инженерно-технических обществ.

Восстановление Сталингорской электростанции. После освобождения подмосковных районов от немецко-фашист-

ских оккупантов началось восстановление крупнейшей из тепловых электростанций СССР — Сталиногорской электростанции Мосэнерго.

В настоящее время восстановление этой электростанции ведется усиленными темпами. Должен быть введен в нормальную эксплуатацию турбогенератор мощностью 100 тыс. kW при 3 000 об/мин с водородным охлаждением, изготовленный Ленинградского завода «Электросила» им. Кирова

(турбина к нему изготовлена Ленинградским металлическим заводом им. Сталина) и котлы № 4 и 5 высокого давления. В дальнейшем на этой электростанции будет установлен второй турбогенератор 100 тыс. kW также отечественного производства.

После полного восстановления Сталиногорской электростанции она будет крупнейшей тепловой электростанцией в Европе с мощностью, превышающей довоенную.



В Отделении технических наук Академии наук СССР

Доклады на сессии в мае 1946 г.

24 мая 1946 г. состоялась сессия Отделения технических наук Академии наук СССР.

Были заслушаны доклады: 1) члена-корр. Академии наук СССР В. П. Вологодина «Использование индукционного нагрева для упрочнения толстостенных труб значительной длины», 2) доктора техн. наук, проф. Н. Н. Рыкалина «Процессы распространения тепла при дуговой электросварке» и 3) члена-корр. Академии наук СССР А. И. Берга «О современном состоянии радиолокации».

Член-корр. Академии наук СССР В. П. Володин в своем докладе остановился на вопросах применения высокочастотного нагрева для поверхностной закалки. Термические напряжения, создаваемые индукционным нагревом, могут давать значительное увеличение прочности кольцевых деталей. В 1944 г. докладчиком был предложен и осуществлен метод упрочнения небольших деталей кольцевой формы путем одновременного нагрева в поле высокой частоты. В 1945 г. этот метод был применен для упрочнения металла в деталях любой величины. Была доказана возможность использования последовательного метода нагрева, как уменьшающего необходимые мощности. Для создания наиболее целесообразного распределения напряжений хороший результат дал многократный нагрев.

Доктор техн. наук, проф. Н. Н. Рыкалин в своем докладе остановился на вопросах теории процесса распространения тепла в изделиях при дуговой электросварке, основанной на методе источников Кельвина. Установлена зависимость местного нагрева и охлаждения металла свариваемых изделий от технологических условий и режима сварки, а также от геометрической формы изделий и теплофизических свойств металла. Замеры изменения температуры в свариваемых изделиях

термопарами показали, что в зоне, нагреваемой до 1 000°, теоретический расчет дает достаточно точные результаты при соответствующем выборе расчетных коэффициентов. Установленные закономерности распространения тепла при сварке представляют основу для изучения и регулирования структурных и объемных изменений в металле свариваемых изделий и для рационального выбора условий режима сварки, обеспечивающих высокую производительность процесса. Термическая эффективность проплавления изделия сварочной дугой возрастает с увеличением мощности дуги и скорости ее перемещения. Применение высокоэффективных режимов проплавления дает возможность повысить производительность дуговой сварки. Условия режима сварки, смягчающие закалку зоны, прилегающей к шву, могут определяться расчетом, основанным на оценках прокаливаемости. Снижение остаточных напряжений в сварных изделиях и уменьшение их деформаций достигается регулированием тепловых воздействий в процессе сварки.

Доклады члена-корр. Академии наук СССР В. П. Вологодина и доктора техн. наук Н. Н. Рыкалина сопровождалась демонстрацией диапозитивов.

Член-корр. Академии наук СССР А. И. Берг в докладе «О современном состоянии радиолокации» ознакомил присутствующих с физико-техническими принципами радиолокации, с задачами, решаемыми современными радиолокационными станциями, с методами борьбы с радиолокаторами, с применением радиолокационной техники во время второй мировой войны и с развитием радиолокационной промышленности в США и Англии. А. И. Берг указал на перспективы применения радиолокации в мирное время. Доклад сопровождался демонстрацией диапозитивов и фильмом о радиолокации.

Доклады на сессии в июне 1946 г.

28 июня 1946 г. состоялась сессия Отделения технических наук Академии наук СССР. Были заслушаны доклады:

1) члена-корр. Академии наук СССР Н. Н. Андреева «Пьезоэлектрические кристаллы и их техническое применение», 2) доктора физико-математических наук, проф. Л. А. Люстерника и доктора техн. наук, проф. Н. Е. Кобринского «Современное состояние и пути развития вычислительной техники» и 3) акад. А. А. Микулина «Авиационные реактивные двигатели».

Член-корр. Академии наук СССР Н. Н. Андреев в своем докладе о пьезоэлектрических кристаллах указал, что со времени открытия Кюри явлений пьезоэлектричества в 1880 г. эти кристаллы имели практическое при-

менение в единичных случаях (электрометр Кюри, маятник Голицына). При дальнейшем изучении явлений пьезоэлектричества кристаллы кварца применялись в качестве стабилизаторов, эталонов и указателей частоты в радиотехнике, в пьезоэлектрических гидрофонах и подводных передатчиках, пьезоэлектрических телефонах, микрофонах и громкоговорителях. Вышеуказанный круг применения пьезоэлектрических кристаллов может быть значительно расширен на основе новых научных исследований пьезоэлектрических, сегнетоэлектрических и диэлектрических кристаллов для применения их в электрических и акустических приборах. Доклад члена-корр. Академии наук СССР Н. Н. Андреева сопровождался демонстрацией диапозитивов.

В обсуждении доклада приняли участие академики

И. В. Гребенщиков и член-корр. Академии наук СССР **А. В. Шубников**. В принятой резолюции отмечено большое значение применения пьезоэлектрических кристаллов в технике и признано необходимым дальнейшее развертывание как теоретических, так и экспериментальных работ в этой области.

Доклад «Современное состояние и пути развития вычислительной техники» прочитал доктор техн. наук **Н. Е. Кобринский**. Он ознакомил присутствующих с историей развития и применения вычислительной техники в современной науке, со средствами и методами автоматизации вычислительных операций и остановился также на вопросах электрического моделирования и принципиальных основах построения электрических моделей, указав важнейшие задачи вычислительной техники.

При обсуждении доклада доктор техн. наук **Л. И. Гутенмахер** дополнил докладчика некоторыми замечаниями об истории развития вычислительной техники и о внедрении

технических средств математического анализа в практику.

Академик **Б. Н. Юрьев** отметил большое значение вычислительных машин, важность теоретических исследований в этой области и указал на необходимость большего выпуска этих машин приборостроительной промышленностью.

В связи с болезнью академика **А. А. Микулина** доклад его об авиационных реактивных двигателях прочел проф. **Б. С. Стечкин**. Он остановился на принципах реактивного движения и на использовании его в различного рода аппаратах. Анализ возможного применения различных авиадвигателей показывает, что с увеличением высоты и скорости полета поршневые двигатели вытесняются турбокомпрессорными, комбинированными с винтом, а эти последние в свою очередь вытесняются турбокомпрессорными воздушнореактивными двигателями, работающими без винта. Доклад сопровождался демонстрацией диапозитивов.

Инж. Ф. В. БЫЧКИН



В секции по научной разработке проблем электросварки и электротермии Академии наук СССР

Новый способ электросварки. При обычных методах ручной и автоматической дуговой электросварки для расплавления присадочного и проплавления основного (свариваемого) металлов используется тепловая энергия вольтовой дуги. Таким образом, эти два тепловых процесса в обычных способах сварки взаимно связаны. Вместе с тем анализ и расчет распределения тепловой энергии при сварке показали, что количество энергии, необходимое для проплавления свариваемого металла, меньше количества энергии, необходимого для расплавления присадочного металла. В обычных методах электросварки распределение энергии дуги между основным и присадочным металлами зависит от физических процессов, происходящих в дуге, и не может быть регулируемо независимо. Между тем, исследование показало, что доля тепловой энергии дуги, выделяемая на основном металле, больше выделяемой на расплавленном электроде. Такое несоответствие между требуемым и фактическим распределением энергии в обычных способах сварки является одним из недостатков, ограничивающим рост производительности, уменьшающим к. п. д. процесса и повышающим удельный расход электроэнергии на килограмм наплавленного металла. Действительно, производительность сварочного процесса зависит от количества расплавленного металла электрода, которое при заданной мощности дуги определяется меньшей частью этой мощности, выделяемой на расплавленном электроде. Вместе с тем глубина проплавления свариваемого металла и расход энергии на этот процесс будут больше, чем это требуется по условиям производства качественной сварки.

Метод электросварки, разработанный академиком **В. П. Никитиным**, отличается тем, что процессы расплавления присадочного и проплавления основного (свариваемого) металла разделены и могут регулироваться независимо. Благодаря этому количество расплавленного присадочного металла определяется лишь мощностью специальных плавильных устройств, а мощность дуги для проплавления свариваемого металла определяется глубиной и скоростью проплавления, необходимыми для обеспечения качественной сварки присадочного и основного металлов. Вследствие этих особенностей производительность нового способа сварки значительно превышает производительность обычных способов автоматической сварки, дает экономию электроэнергии и позволяет производить сварку и наплавку металлов с различными физическими свойствами.

В качестве присадочного металла в способе академика **В. П. Никитина** применяется жидкий, предварительно расплавленный металл; это устраняет необходимость применения специальных (дефицитных) электродов для сварки. Присадочный металл может быть приготовлен любого состава в соответствии с металлургическими особенностями сварки и наплавки свариваемых металлов.

Практическое применение нового способа сварки и наплавки меди и ее сплавов на сталь дало вполне успешные результаты; в настоящее время можно считать освоенным технологический процесс наплавки меди и различных сортов бронз (оловянистых, оловянисто-свинцовистых, медно-никелевых, марганцовистых и т. п.) на сталь. Полученные биметаллические поверхности и отдельные наплавки могут найти широкое применение в различных отраслях машиностроения (подшипники, различного рода направляющие и т. п.).

В секции разработана специальная автоматическая установка для скоростной наплавки меди и изготовлены опытные партии одного из видов изделий сельскохозяйственного машиностроения. Работа проводилась в заводских условиях и в настоящее время подготовлена к внедрению в опытное производство. Применение этой установки позволяет значительно усовершенствовать технологический процесс производства изделий и дает экономию в станкочасах на 74%, экономии меди — на 57,5% и снижение трудоемкости — на 63%.

Применение нового способа для сварки и наплавки стали на сталь наиболее эффективно в условиях массового производства изделий, где имеются швы большой протяженности или большой толщины, а также для наплавочных работ. Для освоения сварки стали в Секции спроектирована и построена в 1945 г. мощная автоматическая установка, позволяющая производить сварку токами до 3 000 А.

Как показали предварительные эксперименты, проведенные в последнее время, новый метод автоматической дуговой электросварки может быть с успехом применен для наплавки твердых сплавов на сталь. При этом качественные наплавки могут быть получены без применения специальных электродов, обмазок или порошкообразных твердых сплавов, так как приготовление присадочного металла и процесс наплавки в новом способе объединены в один технологический процесс.

Успешное завершение этой части работ позволит применить новый способ при производстве ряда изделий в транспортном машиностроении, сельскохозяйственном машиностроении и т. д.

Новые типы сварочных машин и аппаратов. Благодаря значительно увеличившемуся объему сварочных работ в промышленности и строительстве сварочное производство начинает становиться одним из главных потребителей электроэнергии на многих предприятиях. Мощность отдельных автоматических установок доходит до 40–60 kW, а при способе академика **В. П. Никитина** — до 100 kW. Между тем, нагрузка сварочных постов оказывает очень неблагоприятное влияние на сеть вследствие неопределенно меняющейся мощности, низкого cos φ и неравномерности нагрузки фаз. В работе кандидата техн. наук **Г. М. Тиходеева** «Система питания для дуг высокой мощности» даны

основы рационального выбора системы и указаны методы повышения к. п. д. многопостовых систем питания дуги от генераторов постоянного тока и трансформаторов. Для компенсации низкого $\cos \varphi$, при сварке на переменном токе, в работе Г. М. Тиходеева дан расчет компенсирующей мощности статических конденсаторов и обоснована рациональность их применения для мощных сварочных установок. Несимметрия нагрузки в условиях сварки, особенно при применении мощных однофазных трансформаторов для автоматической сварки, является чрезвычайно нежелательным явлением, усложняющим эксплуатацию сварочных установок. На основе метода симметричных составляющих дан способ расчета параметров балансирующей цепи. Результаты работы Г. М. Тиходеева могут быть применены в различных отраслях промышленности в целях рациональной эксплуатации электрических установок для сварки и усовершенствования электросварочного машиностроения.

По этому же направлению в секции в настоящее время проводится работа по изысканию новых типов сварочных аппаратов (доц. С. Т. Назаров и кандидат техн. наук И. Я. Рабинович). Устойчивое горение дуги в условиях сварки требует применения источников тока, обладающих крутопадающей внешней характеристикой. Выпускаемые в СССР сварочные трансформаторы для получения крутопадающей внешней характеристики снабжены отдельными реактивными катушками. Недостатком этой системы сварочных аппаратов переменного тока является значительный расход активных материалов и постоянство напряжения холостого хода независимо от режима сварки; это ограничивает возможность устойчивого горения дуги на малых токах. В секции разработан новый тип сварочного трансформатора по схеме, предложенной академиком В. П. Никитиным. Применение этого трансформатора позволит уменьшить расход активных материалов на 20—25% и обеспечит устойчивое горение дуги в широком диапазоне сварочных режимов благодаря меняющемуся напряжению холостого хода при регулировании. Испытание нового образца сварочного трансформатора, рассчитанного на сварку токами от 20 до 150 А, дало удовлетворительные результаты.

Тепловые основы электросварки. Сварка как электротермический процесс до последнего времени оставалась недостаточно изученной. Работы, проводимые доктором техн. наук, проф. Н. Н. Рыкалиным, имеют своей целью разработку

тепловых основ сварки. Н. Н. Рыкалиным разработана теория распространения тепла при дуговой электросварке для различных форм источников тепла (точечный, линейный и объемный). В работе даны расчетные формулы для пространственных, плоских и линейных полей, проведена экспериментальная проверка теории, которая дала положительные результаты. Работа доложена на сессии Отделения технических наук Академии наук СССР в мае 1946 г. Применение разработанной Н. Н. Рыкалиным теории представляет большой теоретический и практический интерес, так как она позволяет научно обосновать выбор технологического режима сварки различных марок стали, а также разработать методы борьбы с собственными напряжениями и остаточными деформациями в сварных конструкциях.

В настоящее время Н. Н. Рыкалин работает над исследованием условий структурных изменений и развития закалки околошовной зоны при сварке углеродистой и легированной конструкционной стали, нашедшей в последнее время широкое применение в строительстве и машиностроении.

В течение последних лет в СССР и за границей был выполнен ряд работ, посвященных исследованию механизма возникновения деформаций при сварке. Актуальная проблема объемных напряжений при сварке элементов большой толщины является объектом исследований, проводимых в секции под руководством доктора техн. наук Г. А. Николаева. Разработанная под его руководством методика исследования позволяет изучить процессы возникновения деформаций и напряжений при сварке в процессе разогрева и остывания в непосредственной близости от шва в зоне, где температура металла достигает 1200°. Результаты первого этапа исследования позволили выяснить механизм возникновения деформаций и напряжений в процессе нагрева и остывания образцов при наплавке, а также установить влияние фазовых превращений в металле на процесс развития деформаций. Ближайшие исследования позволят установить величину плоскостных напряжений, возникающих при сварке в стык, а также способы регулирования этих напряжений при помощи изменений условий разогрева при сварке.

Кандидат техн. наук И. Я. РАБИНОВИЧ

Зам. председателя секции по научной разработке проблем электросварки и электротермии Академии наук СССР



В секции по научной разработке проблем электросвязи Академии наук СССР

Секция по научной разработке проблем электросвязи, руководимая академиком Б. А. Введенским, в текущем году в основном занимается разработкой проблем распространения и излучения ультракоротких и коротких радиоволн.

Диапазон ультракоротких радиоволн (особенно дециметровый и сантиметровый поддиапазоны) в настоящее время приобретает все большее значение в технике радиосвязи. Специфика применения ультракоротких волн вызвала подробное изучение законов их распространения. Секцией рассматривались следующие вопросы: 1) распространение радиоволн в сложнослоистой среде; 2) траектории лучей и диаграммы излучения при распространении радиоволн в среде с переменным коэффициентом преломления; 3) эффект Доплера при распространении радиоволн в среде с переменным коэффициентом преломления; 4) некоторые вопросы, связанные с разработкой ретрансляционных ультракоротковолновых линий радиосвязи.

При современном состоянии техники ультракоротких волн говорить о применении их для дальних и сверхдальних связей еще рано; последние пока попрежнему обеспечиваются диапазоном коротких радиоволн. Для увеличения устойчивости дальних и сверхдальних линий радиосвязи в этом диапазоне секцией были рассмотрены два вопроса: 1) расчет напряженности поля в месте приема; 2) выяснение относи-

тельной роли различных слоев атмосферы и частотной зависимости коэффициентов поглощения, а также усовершенствование методики радиопрогнозов.

Излучение радиоволн всегда являлось важной областью радиотехники. Хотя в некоторых отношениях теория антенн разработана достаточно подробно, тем не менее ряд принципиальных вопросов остается еще не решенным. Задачи излучения особенно усложнились при переходе к радиотехнике ультракоротких волн. С появлением новых типов антенн (щелевые, рупорные, диэлектрические и т. д.) возникли новые вопросы, требующие немедленного решения. Секция ведет работы по изучению антенн, рупоров и волноводов. В 1946 г. по вопросам поглощения радиоволн и определения траекторий лучей в неоднородной тропосфере получены результаты, представляющие практическое значение для техники радиосвязи.

По вопросу распространения радиоволн в сложнослоистой среде получены предварительные результаты.

По исследованию волноводов проведена совместно с физическим институтом Академии наук СССР экспериментальная работа, результаты которой находятся в стадии обработки.

В первом полугодии 1946 г. было проведено 3 заседания ученого совета, на которых рассмотрены: отчет о выполнении

плана научно-исследовательских работ 1945 г., пятилетний план работ секции по радиосвязи. На расширенном заседании ученого совета заслушан доклад кандидата техн. наук **М. И. Пономарева** о совместной работе академика **Б. А. Введенского** и **М. И. Пономарева** на тему «Применение методов геометрической оптики для определения траектории ультракоротких волн в неоднородной атмосфере».

В течение первого полугодия 1946 г. было проведено 8 коллоквиумов, на которых присутствовали представители научно-исследовательских институтов Министерства судостроения и Министерства электропромышленности. На этих коллоквиумах были заслушаны доклады: кандидата техн. наук **А. И. Узкова** «Общей теории неоднородностей в волноводах», кандидата техн. наук **И. И. Вольмана** «О реактивном вибраторе в волноводе и о сопротивлении излучения вибратора в волноводе при наличии отраженных волн», кандидата техн. наук **Е. Г. Некрасевича** «К вопросу об инверсии выпрямительного действия детекторов», доктора техн. наук, проф. **А. Г. Аренберга** «О решении задач практической электродинамики методом вектора Герца», кандидата техн. наук **Н. Н. Малова** «О возможном улучшении излучения из открытого конца волновода», кандидата техн. наук **Я. Н. Фельда** «О некоторых замечаниях по принципу двойственности», кандидата физ. наук **В. И. Калинина** «О процессах в магнетроне», **И. И. Вольмана** «Учет реакции отражения от нагрузки на величину входного сопротивления

вибратора в волноводе», доктора физ. наук **Т. А. Рязина** «О распространении радиоволн между двумя параллельными полупроводящими плоскостями» и доктора физ. наук **В. Л. Гинзбурга** «Об излучении солнца в спектре радиочастот».

Подготовлены и сданы в печать работы академика **Б. А. Введенского** и **М. И. Пономарева** «Применение методов геометрической оптики для определения траектории лучей в неоднородной тропосфере», **Б. А. Введенского** и **А. Г. Аренберга** «Метод вектора Герца в задачах практической электродинамики», **М. И. Пономарева** «Распространение радиоволн вокруг земли с учетом рефракции», доктора техн. наук проф. **И. Г. Клячкина** «К вопросу о распределении токов вдоль антенны», доктора техн. наук, проф. **Л. А. Жекулина** «Об оценке напряженности поля дифрагированной волны от диэлектрического шара», «Неустановившиеся процессы в коаксиальном кабеле», кандидата техн. наук **А. Н. Казанцева** «Теоретические расчеты поглощения радиоволн в ионосфере при различных законах ионизации по высоте», «Расчет оптимальных радиоволн для коротковолновой радиосвязи» и «О результатах исследования ионосферы во время солнечного затмения 9 июля 1945 г.» и кандидата техн. наук **В. Г. Вольпяна** «Неоднородная спиральная антенна».

Кандидат техн. наук **М. И. ПОНОМАРЕВ**



Коммюнике о результатах работы Московского совещания представителей пяти держав по вопросам электросвязи

С 28 сентября по 21 октября в Москве проходило совещание представителей Союза ССР, Соединенного Королевства, Соединенных Штатов Америки, Франции и Китая по вопросам электросвязи.

Совещание признало, что особенно срочными проблемами являются вопросы улучшения организации радиосвязи и перераспределения радиочастот для морской, воздушной и наземной радиослужбы, для вещания и для других целей.

Совещание рекомендовало созвать 15 мая 1947 г. Мировую конференцию по радиосвязи, на которой будут решаться вышеуказанные проблемы.

Совещание приняло решение о создании Международного бюро регистрации частот. Деятельность этого бюро должна уменьшить взаимные помехи между радиостанциями мира.

Были рассмотрены также вопросы, связанные с организацией международной телефонной и телеграфной связи, и одновременно было указано направление, которого надлежит придерживаться при дальнейшем пересмотре телеграфного и телефонного Регламентов с целью их улучшения. Московское совещание рекомендовало созвать Мировую конференцию по телефонной и телеграфной связи в 1948 г.

В результате рассмотрения проектов новой Конвенции по электросвязи и общего регламента, представленных делегацией СССР, с учетом предложений других делегаций

был составлен предварительный проект новой Конвенции. Совещание рекомендовало реорганизовать существующий Международный союз электросвязи, а также рекомендовало, чтобы этот Союз установил отношения с Организацией Объединенных Наций.

Будет создан Административный совет Международного союза электросвязи с его бюро для руководства административной и технической работой Союза.

Совещание рекомендовало созвать 1 июля 1947 г. полномочную Конференцию для принятия новой Конвенции электросвязи и для реорганизации Международного союза электросвязи.

При формулировании своих предложений для Мировых конференций связи участники Московского совещания будут исходить из рекомендаций, записанных в протоколах совещания.

Совещание помогло выяснению точки зрения каждой делегации по ряду вопросов, имеющих существенное значение в деле организации электросвязи и выработки основных положений будущей новой международной Конвенции. Работа совещания на всем протяжении характеризовалась высокой степенью сотрудничества и взаимопонимания, которые являются хорошим предзнаменованием успешного разрешения проблем в области электросвязи, подлежащих обсуждению на предстоящих Международных конференциях электросвязи.

Москва, 21 октября 1946 г.



Совещание по вопросам электрооборудования сельских электрических станций

7—10 июня 1946 г. в Энергетическом институте им. Кржижановского АН СССР под председательством академика А. В. Винтера состоялось широкое научно-техническое совещание по вопросам, связанным с электрическим оборудованием сельских электрических станций малой мощности.

В совещании принимали участие работники Энергетического института АН СССР, Всесоюзного института механизации и электрификации сельского хозяйства, Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства им. Молотова, Всесоюзного электротехнического института, Московского энергетического института им. Молотова, Научно-исследовательского института Министерства электропромышленности, Всесоюзного института гидромашиностроения, Центрального аэрогидродинамического института, а также представители министерств: земледелия, технических культур, электропромышленности, электростанций, сельскохозяйственного машиностроения и др.

Во вступительном слове доктор техн. наук, проф. А. Г. Иосифьян указал на большие задачи, выдвигаемые широким развитием строительства сельских электростанций, которое предусмотрено пятилетним планом восстановления и развития народного хозяйства СССР.

Строящиеся электростанции должны получить от промышленности высококачественное комплектное электрическое оборудование. Необходимо разработать технические условия на это оборудование, выбрать наиболее рациональный тип электрического генератора для мелких станций и сформулировать основные задания в области научно-исследовательской работы по вопросам электрического оборудования сельских электрических станций.

В докладе научного руководителя отдела электрификации Всесоюзного института механизации и электрификации сельского хозяйства кандидата с.-х. наук Н. А. Сазонова «Современные типы сельских электростанций и технические требования к их электрическому оборудованию» был дан анализ количественного роста сельских электростанций и их классификации по типам и мощностям по состоянию на 1946 г. и по плановым предположениям на новую пятилетку.

Н. А. Сазонов изложил основные технические требования к электрическому оборудованию сельских электростанций малой мощности и, в частности, к электрическим генераторам.

Начальник технического отдела Главсельэлектро Министерства земледелия СССР инж. А. П. Златковский в содокладе подчеркнул необходимость снижения стоимости электрооборудования и удешевления стоимости электрической энергии, отпускаемой с шин сельских электростанций.

Вопросу о современных типах ветродвигателей для сельских электростанций малой мощности были посвящены доклад руководителя Лаборатории ветроиспользования ВИМЭ кандидата техн. наук Е. М. Фатеева и содоклад доктора техн. наук, проф. Н. В. Красовского (МИМЭСХ).

Ветроэлектростанции могут быть построены по двум основным схемам: 1) ветроэлектростанции изолированного типа с резервным двигателем (гидравлическим или тепловым) и 2) ветроэлектростанции для параллельной работы с имеющейся электрической сетью. Ветроэлектростанции по первой схеме широко применяются в Арктике. Вследствие высоких скоростей ветра (от 6 м/сек и выше) ветроэлектростанции этого типа обеспечивают зимовки Главсевморпути электроэнергией от 80 до 90 % всей потребности.

Заводы Министерства авиационной промышленности в 1946 г. выпускают два типа быстроходных ветродвигателей: ВИСХОМ Д-3 на 300 и 1000 W и ВИМЭ Д-12 на 10 kW. В настоящее время разработано несколько проектов более мощных ветроэлектростанций на 24 kW (ВИМЭ Д-18), 75 kW (ВИМЭ Д-30) и на 1000 kW (ЦВЭИ Д-50).

Инж. М. М. Орахелашвили (Всесоюзный институт гидромашиностроения) в докладе на тему «Современное состояние гидротурбостроения для электрификации сельского хозяйства» ознакомил совещание с новой номенклатурой гидротурбин малой и средней мощности и дал их конструктивное описание.

Вопрос о выборе типа электрического генератора для сельских электростанций был рассмотрен в докладе кандидата техн. наук П. А. Свириденко (ЭНИН). По этому вопросу состоялся ряд содокладов.

Было отмечено, что для сельских электростанций мощностью от 30 до 50 kW и выше наиболее приемлемым был и остается синхронный генератор нормального исполнения с отдельным возбудителем на общем валу. Для очень малых электростанций, предназначенных исключительно для осветительной нагрузки (мощностью до 5 kW), целесообразно применять асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором и с конденсаторным возбуждением. Для сельских гидроэлектростанций и ветроэлектростанций, работающих параллельно с более крупными электростанциями, имеющими синхронные генераторы, бесспорно наилучшим типом генератора является асинхронный генератор.

Что же касается широко распространенного в сельском хозяйстве типа электрического генератора мощностью от 5 до 30—50 kW, то наиболее конкурентноспособными являются: синхронные генераторы с селеновыми выпрямителями и машины с постоянными магнитами и стабилизаторами напряжения, совмещенными с повысительным трансформатором.

Доклад на тему «Коммутационные схемы сельских электростанций» сделал руководитель лаборатории станций и сетей ВИМЭ кандидат с.-х. наук И. А. Будзко. Учитывая, что в текущем пятилетии будет построено около 30 тыс. сельских электростанций, потребность в приборах и аппаратуре для них (даже при самых упрощенных схемах коммутации) следует считать весьма значительной. Особое внимание в докладе было уделено вопросам автоматического регулирования частоты и напряжения на сельских электростанциях и необходимости комплектной поставки колхозам электрического оборудования.

Подводя итоги совещания, академик А. В. Винтер наметил основные задачи научно-исследовательских институтов по созданию для сельских электростанций новых типов рационального электрического оборудования, в которых должны сочетаться максимальная надежность в работе с максимальной простотой и доступностью в обслуживании.

На совещании была избрана комиссия под председательством академика А. В. Винтера, в задачу которой входит координирование научно-исследовательской работы в области электрического оборудования для сельской электрификации и разработка технических условий на выпуск этого оборудования нашей промышленностью.

Кандидат с.-х. наук Н. А. САЗОНОВ



К 25-летию Ленинградского физико-технического института Академии наук СССР

В текущем году исполнилось двадцатипятилетие Ленинградского физико-технического института Академии наук СССР.

В своей речи на торжественном заседании, посвященном юбилею ЛФТИ и состоявшемуся в ленинградском конференц-зале АН СССР, президент Академии наук СССР академик С. И. Вавилов дал высокую оценку научной деятельности института и роли организатора и бессменного директора и научного руководителя института академика А. Ф. Иоффе.

В январе 1921 г. из Государственного рентгенологического института выделился физико-технический отдел. Отдел был преобразован в самостоятельный институт, впоследствии названный Ленинградским физико-техническим институтом. Первые научные проблемы института охватывали большой комплекс тем, связанных с изучением рентгеновских лучей и их применением в работах над вопросами строения вещества, особенно твердых тел. Новые исследования института в области рентгентехники, электровакуумной и высоковольтной техники становились достоянием всей науки.

В ЛФТИ были поставлены одни из первых опытов по телевидению и телемеханике.

Для более тесной связи физики с промышленностью в 1924 г. при ЛФТИ была организована Физико-техническая лаборатория Высшего совета народного хозяйства.

Продолжая работы А. Ф. Иоффе по изучению механических свойств твердых тел, институту удалось выяснить природу происходящих в этих телах процессов. Из разработанного институтом рентгеновского метода выросло, широко развитое теперь, рентгенографическое исследование металлов и высококачественных сплавов. Под руководством действительного члена Украинской академии наук Г. В. Курдюмова развилось учение превращения в сплавах.

В создании современного учения об электропроводности и электрическом пробое диэлектриков в Физико-техническом институте принадлежит видная роль. К крупным работам института относятся: механизм высоковольтной поляризации, механизм проводимости при высоких температурах, образование объемных зарядов, тепловая и электронная теории пробоя диэлектриков.

Академиком И. В. Курчатовым в течение ряда лет изучались вопросы, связанные с исследованиями электрических свойств монокристаллов сегнетовой соли, и было развито учение об особом электрическом явлении — сегнетоэлектричестве.

Изучение аморфных тел и высокомолекулярных соединений явилось одной из актуальнейших проблем института. В этой области наряду с ценными научными результатами были получены также серьезные промышленные достижения. Так, совместно с одним из ленинградских заводов был разработан и внедрен в производство метод получения морозостойкого синтетического каучука, введен полистирол как высококачественная изоляция, синтезирован оригинальным и простым способом новый высококачественный изолятор — бессерный эбонит, получивший название «эскапон». Вследствие незначительных диэлектрических потерь эскапон нашел серьезное применение в кабельной и радиотехнической промышленности.

От изучения электрических свойств диэлектриков институт перешел к исследованиям полупроводников. Институтом создан новый высокоэффективный серно-таллиевый фотоэлемент, непосредственно превращающий в лучистую энергию в электрическую. Теоретическое и экспериментальное изучение явления выпрямления переменного тока привело к производству в заводском масштабе высококачественных твердых выпрямителей — селеновых и меднозакисных, а также нового типа мощного выпрямителя из сернистой меди. В результате изучения термоэффекта была получена полупроводниковая

термобатарея — прибор, превращающий тепло в электричество с удовлетворительным к. п. д.

Широкое развитие перед войной получили работы в области изучения атомного ядра и космических лучей. Еще в 1935 г. в лаборатории академика И. В. Курчатова было открыто явление изомерии атомного ядра радиоактивного брома. Впоследствии оказалось, что явление изомерии широко распространено среди элементов периодической системы. Особое значение для понимания этого явления имело обнаружение испускания ядрами-изомерами медленных электронов. В этой же лаборатории был открыт новый вид самопроизвольного превращения ядер — спонтанное деление урала. Из ядерных лабораторий института вышли известные работы Алихановых по изучению радиоактивных процессов, связанных с испусканием электронов. Там же была разработана новая методика исследования электронного излучения ядер. Исследования Алихановыми спектров электронов и позитронов (элементарных частиц с массой электрона, но с положительным зарядом) являются значительным вкладом в науку. Эти работы удостоены Сталинской премии.

Ценные работы были проведены в области изучения космических лучей — лучей, приходящих к нам из мирового пространства и обладающих большой проникающей способностью. Для изучения космических лучей институт под руководством академика А. И. Алиханова организовал несколько высокогорных экспедиций на Эльбрус и Алагез, несколько экспедиций на Черное море и провел исследования в туннелях московского метро. Эти работы привели к установлению нового типа лучей, входящих в состав сложного космического излучения.

Физике электронов, атомов, атомных ядер и элементарных процессов в деятельности Ленинградского физико-технического института уделялось большое внимание. Наиболее известны в этой области две работы академика А. Ф. Иоффе, в которых исследовались фундаментальные свойства элементарной частицы — электрона. В первой из этих работ было доказано существование магнитного поля лучка двигающихся в пустоте электронов. Во второй — была доказана элементарность заряда электрона и измерена его величина. Развитие работ по атомной физике привело к известным исследованиям академика Н. Н. Семенова и его сотрудников, посвященным элементарным процессам, расщеплению молекул и образованию молекул из атомов, а также созданию цепной теории химических реакций. Все это послужило основой для создания новой области химической физики.

Немалая часть работ института имела оборонное значение. В различных советских и иностранных журналах институтом опубликовано свыше двух тысяч научных работ.

В целях широкого развития физики ЛФТИ активно содействовал организации физико-технических институтов и лабораторий в различных городах страны. Так, были организованы: Сибирский физико-технический институт в Томске и Украинский физико-технический институт в Харькове, Физико-технические институты в Днепропетровске и Свердловске, Физико-агрономический институт в Ленинграде и др.

Институтом созданы многочисленные кадры высокообразованных физиков. Среди учеников А. Ф. Иоффе такие крупные ученые, как Н. Н. Семенов, И. В. Курчатов, А. И. Алиханов, Н. Н. Давиденков, Г. В. Курдюмов, А. И. Алиханьян, А. И. Лейпунский, Я. И. Френкель, И. В. Обреимов, П. И. Лукирский, А. П. Александров, П. П. Кобеко, И. К. Кикоин, Б. М. Вул и многие другие.

В настоящее время перед ЛФТИ снова раскрываются богатейшие возможности творческой работы на благо социалистической родины. Институт мобилизует все свои усилия для активного участия в решении больших задач, поставленных перед советской наукой И. В. Сталиным.

Кандидат физико-матем. наук **М. С. СОМИНСКИЙ**
Зам. директора ЛФТИ



Нагревостойкие электроизоляционные материалы на основе стеклянного волокна

Работы научно-исследовательских учреждений и предприятий советской электропромышленности по созданию нагревостойкой электрической изоляции на основе стеклянного волокна были за последние годы организованы следующим образом:

1. Все рецептурные разработки, установление основных технологических параметров, составление технологических рекомендаций и технических требований на нагревостойкие пропиточные лаки, клеящие лаки для стеклослюдяной изоляции, стеклолакоткань и стеклослюдяную изоляцию проводились в ЦНИЛИЗ ВЭИ под руководством проф. К. А. Андрианова.

2. Освоение производства названных материалов осуществлялось на соответствующих заводах, обычно при непосредственном участии ЦНИЛИЗ ВЭИ, оказывающей большую помощь в этом деле.

3. Разработка технологии стеклотекстолита осуществлена бригадой Всесоюзного бюро электрической изоляции на базе производства завода Министерства электропромышленности СССР, где директором И. Д. Шихман.

Необходимо отметить, что проводимые работы все время тормозились трудностями в получении стеклоткани бесщелочного состава.

Стеклолакоткань. Работа ЦНИЛИЗ ВЭИ по созданию лака для стеклолакоткани была усложнена тем, что пришлось считаться с технологическими параметрами существующих пропиточных машин для производства лакотканей, имеющих ограниченную рабочую температуру сушильных шахт.

В результате проведенных работ ВЭИ предложил два типа лаков для производства стеклолакоткани: 1) светлый лак на основе глифталевой смолы, модифицированной жирными кислотами льняного масла и адипиновой кислотой; 2) черный композиционный лак—смесь глифталевого лака с масляно-асфальтовым лаком.

На заводе Министерства электропромышленности СССР, где директором Н. И. Крестов, был разработан и освоен процесс производства черной стеклолакоткани и налажен серийный выпуск ее. Сейчас выпуск черной стеклолакоткани лимитируется исключительно крайне недостаточным количеством ткани из стекла бесщелочного состава, предоставляемой Министерством легкой промышленности СССР.

Выпущенная заводом черная стеклолакоткань толщиной 0,14—0,35 мм вполне удовлетворяла требованиям технических условий, обнаружив даже в ряде случаев значительные превышения гарантийных значений: так, ее электрическая прочность фактически составляла: а) в состоянии поставки 38—66 кВ/мм; б) после перегиба 37—47 кВ/мм; в) после прогрева 18 ч при 125°С с последующим перегибом 29—44 кВ/мм. Удельное объемное сопротивление достигало значений, превышающих гарантийные в 100 раз.

Нижний предел толщины стеклолакоткани определяется сейчас толщиной самой ткани-основы, получаемой от Министерства легкой промышленности СССР. До последнего времени стандартной толщиной стеклянной ткани является 0,11 мм, с допусками $\pm 0,01$ мм. Отсутствие более тонкой стеклолакоткани недопустимо тормозит развитие отдельных типов электрооборудования. Опытная партия бесщелочной стеклоткани выработки 1945 г. при номинальной толщине 0,08 мм имела исключительную неоднородность по толщине (до 0,11 мм). Стеклолакоткань толщиной 0,08 мм, полученная в 1946 г., оказалась более удачной. Однако, в настоящее время электропромышленности необходима стеклолакоткань толщиной 0,06 мм.

Министерство легкой промышленности должно принять меры к улучшению качества бесщелочной стеклоткани.

Стеглослюдяная изоляция. ЦНИЛИЗ ВЭИ были разработаны и предложены технологические рекомендации для производства стекломикафолия и стекломикаленты.

Качество стекломикафолия регламентировано временными техническими условиями, разработанными ЦНИЛИЗ

ВЭИ. По этим техническим условиям: 1) содержание связующего должно быть в пределах от 10 до 30%; 2) содержание летучих должно быть до 2%; 3) средняя пробивная напряженность при 70°С должна быть не менее 15 кВ/мм, при минимальном значении не ниже 10 кВ/мм; 4) удельное объемное сопротивление в состоянии поставки при 20°С должно быть не менее 10^{14} Ом·см; 5) номинальные толщины: 0,15; 0,20; 0,25 и 0,30 мм.

Стеклотекстолит производства завода Министерства электропромышленности, где директором Н. И. Крестов, вполне удовлетворяет этим требованиям и даже значительно превосходит их по величине средней электрической прочности (фактически получено 20 кВ/мм).

До сих пор массовый выпуск стеклослюдяных изоляционных материалов малых толщин не мог быть налажен из-за отсутствия достаточно тонкой стеклоткани. В этом отношении вопрос скорейшего массового выпуска тонких стеклотканей не менее актуален, чем для производства тонких стеклолакотканей.

Нагревостойкий пропиточный лак для обмоток электрических машин со стеклянной изоляцией. В качестве пропиточного лака ЦНИЛИЗ ВЭИ предложила композиционный лак, аналогичный черному лаку для производства лакоткани. Производство этого лака полностью освоено на заводе Министерства электропромышленности, где директором А. И. Курлаков. Однако, из-за малого развития применения стеклянной изоляции в электромашиностроении пока нет серьезного эксплуатационного опыта по этому лаку.

Стеклотекстолит. Комплексная бригада Всесоюзного бюро электрической изоляции, разрабатывавшая в 1944—1945 гг. технологию производства стеклотекстолита, из-за трудности получения бесщелочной стеклоткани вынуждена была большую часть работы проводить с тканью щелочного состава. Это касалось таких важных участков работы, как установление режимов пропитки, прессования, термической обработки, требовавших сравнительно больших количеств ткани.

Проверка влияния рецептуры стекла и характера переплетения ткани на электрические характеристики стеклотекстолита показала, что решающее значение имеет рецепт стекла (для заданного в производстве типа смолы).

Стеклотекстолит при высоких температурах сильно снижает электрические характеристики. Так, величина $\tan \delta$ при 150°С и 50 Hz приближается к 1. Стеклотекстолит из бесщелочной стеклоткани и спирторастворимой анилинофенольформальдегидной смолы имеет более высокие электрические характеристики как при низких, так и, что особенно важно, при высоких температурах. Особенно благоприятные результаты получены с этим текстолитом после дополнительной, достаточно длительной термической обработки.

Весьма интересные результаты получены в ЦНИЛИЗ ВЭИ при применении специальных анилинофенольформальдегидных смол (отличающихся большим содержанием анилина в реактивной смеси и нерастворимостью в спирте) и обработке стеклотекстолита парами кремнийорганических соединений, разработанных проф. К. А. Андриановым. Этот текстолит при очень высоких начальных электрических характеристиках отличается исключительной стойкостью против воздействия влаги. Так, удельное объемное сопротивление как в исходном состоянии, так и после 24 h пребывания в воде равно 10^{14} Ом·см; после 96 h пребывания в воде оно остается равным еще 10^{13} Ом·см.

Затронутые выше вопросы о нагревостойких электроизоляционных материалах из стеклянного волокна были освещены в докладе автора настоящей заметки на недавнем состоявшемся XXVIII пленуме Всесоюзного бюро электрической изоляции.

Кандидат техн. наук Ю. В. КОРИЦКИЙ



В Научно-техническом обществе МЭИ

На общем собрании электротехнического отделения НТО Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова был заслушан доклад доктора техн. наук, проф. И. Л. Каганова «Современное состояние проблемы передачи энергии постоянным током на дальние расстояния» (Электричество, № 1, 1946).

В докладе «Высоковольтные генераторы для электросистем» кандидат техн. наук, доц. М. Б. Липковский сообщил о работе, выполненной по созданию высоковольтного генератора. Принятая конструкция высоковольтного генератора с масляной изоляцией устраняет обычные в современных генераторах противоречия между требованиями электрической прочности и требованиями охлаждения.

Лауреат Сталинской премии, доктор техн. наук, проф. М. С. Нейман ознакомил собравшихся с постановкой высшего образования в США. Доктор техн. наук, проф. М. А. Бабилов сделал сообщение о современных высоковольтных установках Германии.

Цикл докладов доктора физ.-матем. наук, проф. Ф. Ф. Волькенштейна был посвящен электропроводности и пробою диэлектриков в свете современной физики. Новой работе кафедры кабельной техники был посвящен доклад доктора техн. наук, проф. С. М. Брагина «Исследование электрических характеристик кабелей на моделях». В прениях отмечалась важность работы, позволяющей приблизить лабораторный опыт к производству. Вместе с тем отмечалась и необходимость более строгого доказательства возможностей переноса опытов на модели в промышленности.

Оживленный обмен мнениями вызвал доклад доктора техн. наук, проф. К. М. Поливанова «Разность потенциалов, напряжение, э. д. с.».

Доклад кандидата техн. наук, доц. Н. Г. Дроздова «Статическое электричество в промышленности» сопровождался демонстрацией экспериментов, доказывавших предложенные докладчиком теоретические объяснения образования статического электричества, как явления поверхностного, подчиняющегося принципу предельности зарядов. На ряде конкретных примеров докладчик показал, каким опасным фактором может оказаться статическое электричество для промышленности (пожары, взрывы, массовый брак продукции).

В секции теоретической электротехники с докладом на тему «Переходные процессы в ионизированных средах» выступил доктор техн. наук, проф. Л. А. Жекулин, рассказавший о распространении электромагнитных импульсов в однородных ионизированных средах, об отражении импульсов от ионизированного слоя, ограниченного плоской поверхностью раздела, и об отражении импульса от неоднородного ионизированного слоя.

«О сегнетоэлектриках и их применении в промышленности» сделал доклад в сопровождении интересных демонстраций кандидат техн. наук, доц. А. С. Шенин. Докладчик сообщил о материалах, объединяемых под общим названием «сегнетоэлектрики», и о разнообразном практическом использовании сегнетоэлектриков. В докладе кандидата физ.-матем. наук, доц. А. Л. Зельманова «Релятивистская космология» был освещен ряд современных воззрений на строение вселенной. Вопросам учебно-методического характера был посвящен доклад С. М. Брагина «Электрическое поле в учебном кинофильме».

В радиотехнической секции были заслушаны доклады обзорного характера: доктора техн. наук, проф. М. С. Неймана «Развитие радиотехники в США», представителя Министерства электропромышленности инж. Л. Н. Шорина «Развитие радиопромышленности в новой пятилетке». На расширенном заседании секции и ученого совета радиотехнического факультета доктор техн. наук, проф. Г. В. Брауде сделал

доклад о современном телевидении. Говоря о прогрессе современного телевидения, докладчик особо отметил развитие сверхчувствительных трубок, позволяющих передавать изображения при освещенностях, соответствующих лунному свету. С докладом о новой работе «Радиотелеметрические линии связи для испытания самолетов», проведенной кафедрой «Основ радиотехники» совместно с кафедрой «Автоматики и телемеханики», выступил кандидат техн. наук, доц. В. А. Котельников.

В секции промышленной электротехники в докладе «Моделирование электрических машин при изучении работы энергосистем» кандидат техн. наук, доц. В. А. Веников сообщил о разработанных им теоретических предпосылках для моделирования электрических машин, о теоретическом и экспериментальном исследовании точности приближенного моделирования. Доклад доктора техн. наук, проф. Ю. С. Чечета был посвящен вопросу о графических методах построения магнитных полей.

В секции электрических систем кандидат техн. наук, доц. А. А. Васильев сделал доклад о «Рациональных схемах и конструкциях распределительных устройств 110 kV».

В секции светотехники состоялись доклады: доктора техн. наук, проф. В. В. Мешкова «Новая шкала блескости по Гаррисону», кандидата техн. наук М. Д. Гозенпуг «О развитии светотехнической промышленности в новой пятилетке», доктора техн. наук, проф. Л. Д. Белькинда «Пьер Бутер — основоположник фотометрии». В прениях отмечалась важность постановки работ по истории светотехники и необходимость издания работ Бутера на русском языке.

В докладе кандидата техн. наук, ст. научного сотрудника К. С. Вульфсона было сообщено об «Импульсных источниках света», основанных на прохождении искры через слой однородного газа. Наиболее удачными явились импульсные источники света с ксеноном и криптоном. Эффектными демонстрациями сопровождался доклад кандидата техн. наук, ст. научного сотрудника З. М. Горева «Применение светящихся составов для освещения», кандидата техн. наук, ст. научного сотрудника Н. В. Горбачева «Архитектурное освещение с применением светящихся составов». Кандидат техн. наук, ст. научный сотрудник Д. А. Шкловер сделал доклад на тему «Спектрофотометрические измерения светящихся составов». Одно из заседаний секции было посвящено обсуждению доклада «Проект стандарта на освещение промышленных предприятий», сделанного доктором техн. наук, проф. В. В. Мешковым.

* * *

На заключительном заседании электроэнергетической секции научной сессии МЭИ состоялся доклад заслуженного деятеля науки и техники, доктора техн. наук, проф. Л. И. Сиротинского «Современное состояние вопроса о перенапряжениях и защите от перенапряжений».

Начав с исторического обзора, докладчик перешел к современной постановке вопроса об атмосферных (внешних) и коммутационных (внутренних) перенапряжениях. Подробно осветив вопросы методики теоретического анализа и методики испытаний, Л. И. Сиротинский остановился на общей постановке вопроса о защите линий электропередачи и дал краткую характеристику методов расчета защитных уровней.

Кандидат техн. наук, доц. В. А. ВЕНИКОВ



Семинар по теории электрических цепей

В Энергетическом институте им. Кржижановского Академии наук СССР работает семинар по теории электрических цепей (руководитель доктор техн. наук Э. А. Меерович). В первом полугодии 1946 г. семинар заслушал ряд докладов. Кандидат техн. наук Р. П. Жежерин доложил о развитии им инженерном методе расчета явлений в электрических цепях, содержащих один элемент R , L или C , изменяющийся во времени по гармоническому закону. Расчет ведется только для основной гармоники, для которой могут быть также построены векторные и круговые диаграммы. Определение областей самовозбуждения параметрической машины, выполненное методом автора, дало результаты, хорошо совпадающие с данными опыта.

Кандидат техн. наук В. Л. Фабрикант разобрал в своем докладе вопрос о целесообразных преобразованиях координат применительно к расчетам токораспределения в трехфазных сетях. Для задач с неизменной схемой сети и изменяющейся э. д. с. единственным условием целесообразности применения составляющих является приведение, матрицы полных сопротивлений к диагональной форме. Для задач с симметричной э. д. с. и сетью, изменяющейся в одной произвольной точке (место повреждения) добавляется также

требование инвариантности мощности. Докладчиком были рассмотрены требования к матрицам преобразования и виды этих матриц для некоторых случаев.

Сообщение кандидата техн. наук П. И. Зубкова было посвящено проблеме электромеханических аналогий. В частности, рассматривался вопрос о применении аналогий первого или второго рода к электромагнитным и электростатическим преобразователям энергии.

Доктор техн. наук Э. А. Меерович в своем сообщении обратил внимание на работу Н. Ховитта «Теория групп и электрические цепи». Он отметил неполноту работы Н. Ховитта в части выяснения вопроса о физической реализуемости различных электрических цепей с инвариантными входными полными сопротивлениями.

Сообщение кандидата техн. наук Л. С. Гольдфарба было посвящено численным методам Коизуми и Русселя для определения оригиналов функций по их операторным изображениям. Эти методы имеют практическое значение для расчетов переходных процессов в электрических цепях.

Кандидат техн. наук М. ЛИБКИНД



Профессор С. А. Ринкевич

К 60-летию со дня рождения

В июле 1946 г. исполнилось 60 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники, доктора техн. наук, профессора Ленинградского электротехнического института им. Ульянова (Ленина) Сергея Александровича Ринкевича.

Деятельность С. А. Ринкевича неразрывно связана с развитием и внедрением в промышленность электрического привода. С. А. Ринкевичу принадлежит известный труд «Основы проектирования электрического оборудования электротехнических заводов». В 1922 г. С. А. Ринкевич был избран профессором Ленинградского электротехнического института по кафедре «Электрическое распределение механической энергии» и в 1924 г. приступил к созданию первой в СССР лаборатории, предназначенной не только для учебных целей, но и для постановки исследований, связанных с внедрением электрического привода в промышленность. Благодаря умелому сочетанию теории и практики в преподавании уже первые выпуски инженеров по электрификации промышленности оказались достаточно подготовленными к практической деятельности.

В 1925 г. С. А. Ринкевич опубликовал капитальную работу в области теории электрического привода—первое в Советском Союзе систематизированное учебное пособие по теории электрического привода под названием «Электрическое распределение механической энергии», которое в 1932 г. было переработано и вышло в свет в двухтомном издании.

С. А. Ринкевич известен, как организатор и руководитель ряда крупных промышленных исследований и изысканий наиболее выгоднейших режимов технологического процесса.

В результате исследования прокатных станов на заводе «Красный Выборжец» С. А. Ринкевич опубликовал ра-

боту «Определение работы прокатки цветных металлов и выбор мощности электродвигателя» (Вестник металлопромышленности, № 10, 1929). Известны также работы, проводимые под руководством С. А. Ринкевича по исследованию многодвигательного электропривода бумажных машин на комбинате им. газеты «Правда».

В 1930 г. С. А. Ринкевич становится руководителем научно-исследовательского бюро Электропрома и ведет исследования режимов работы электрических приводов в различных отраслях промышленности. Здесь же под его руководством были разработаны многочисленные конструкции первых советских электрических приводов, в частности привода крупных станков и бумажных машин.

Быстрое развитие электрического привода и распространение его во всех отраслях промышленности потребовали детализации и дифференциации работы по изучению электропривода. С. А. Ринкевич приступает с 1937 г. к созданию специальных отраслевых лабораторий по электрическому приводу: по автоматическому управлению электроприводами; по электроприводу судовых механизмов; по электрооборудованию подъемно-транспортных устройств; по электроприводу металлообрабатывающих станков. В период Великой Отечественной войны С. А. Ринкевич руководил целым рядом научных работ по заданиям Ленинградского фронта.

С. А. Ринкевич награжден орденом Трудового Красного Знамени и медалью «За Оборону Ленинграда»; в декабре 1942 г. ему присвоено звание заслуженного деятеля науки и техники РСФСР. С 1943 г. С. А. Ринкевич является председателем энергетической секции Ленинградского дома ученых.



Профессор В. К. Попов

К 25-летию научно-педагогической деятельности

На заседании ВНИТОЭ в Ленинграде недавно отмечалось 25-летие научно-педагогической деятельности профессора Ленинградского политехнического института им. Калинина, доктора технических наук Владимира Константиновича Попова.

Имя В. К. Попова тесным образом связано с созданием русской научной школы по электроприводе. В организованной и руководимой В. К. Поповым лаборатории выполнено большое число научно-исследовательских работ для электрификации промышленности Ленинграда и других городов. В книгах и статьях В. К. Попова разработаны многие вопросы электропривода. Известны его работы: «Теория работы и методы построения нагрузочных диаграмм неререверсивных прокатных двигателей с маховиком» (1929 г.), «Работа асинхронного двигателя группы Леонарда—Ильгнера, служащей для питания привода неререверсивного стана» (1930 г.), «Обобщенная классификация нагрузочных диаграмм электропривода» (1936 г.), «Основные направления автоматизации металлургической промышленности» (1937 г.), «Переходные режимы в ионном приводе» (1941 г.), «Анализ колебаний следящего привода» (1946 г.) и др. В 1945 г. В. К. Поповым выпущен учебник «Основы электропривода»; находится в печати учебное пособие «Электропривод» для студентов и инженеров неэлектриков.

Известна также и широкая общественно-научная работа В. К. Попова по организации всесоюзных научно-технических конференций в области электропривода. Девятым Всесоюзным электротехническим съездом был утвержден составленный В. К. Поповым проект норм по электрическим машинам.

С развитием применения автоматики в электроприводе возрастал интерес В. К. Попова к этой области. В 1934 г. совместно с Д. В. Васильевым им был выпущен большой труд «Введение в электроавтоматику». С 1935 г. Владимир Константинович начал работать в Комиссии и затем в Институте автоматики и телемеханики Академии наук СССР. В настоящее время В. К. Попов является руководителем лаборатории автоматизированного привода и членом ученого совета Института автоматики и телемеханики Академии наук СССР.

В течение ряда лет Владимир Константинович является одним из активных и ближайших сотрудников и консультантов редакции журнала «Электричество».

За четверть века большой научной, педагогической, инженерно-технической и общественной деятельности проф. В. К. Попов внес значительный вклад в дело развития науки об электроприводе, электротехнике и электрификации СССР.



Профессор В. П. Иванов

К 25-летию научно-педагогической деятельности

Исполнилось 25 лет научно-педагогической деятельности профессора Ленинградского политехнического института им. Калинина Владимира Петровича Иванова. За выдающиеся заслуги в деле подготовки инженерных кадров и плодотворную научно-техническую деятельность в области энергетики Президиум Верховного Совета СССР в мае с. г. наградил В. П. Иванова орденом Трудового Красного Знамени.

Работа В. П. Иванова по подготовке инженерных кадров протекала, главным образом, в Ленинградском политехническом институте. Курсы лекций В. П. Иванова «Энергоснабжение промпредприятий», «Тепловые электрические станции», «Обработка питательной воды для котлов» являются весьма ценными пособиями.

Одновременно с преподаванием в Политехническом институте В. П. Иванов работает в промышленности. Он принимает деятельное участие в экспертизе проектов многих крупнейших в СССР электрических сооружений, состоит заместителем председателя научно-технического совета топливно-энергетического управления Ленгорсовета и участвует в качестве старшего научного сотрудника в работах ленинградской группы Энергетического института им. Кржижановского Академии наук СССР. В. П. Иванов—один из руководящих деятелей Всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетиков, где он является членом правления. Во время Великой Отечественной войны им выполнен ряд работ оборонного значения, способствовавших разрешению важных технических проблем энергостроительства.



О представлении работ на соискание медали имени А. С. Попова

Срок представления выполненных в течение 1935—1946 гг. работ на соискание медали имени А. С. Попова переносится с 1 октября 1946 г. на 1 февраля 1947 г.

Работы следует направлять по адресу: Москва, 3, Мусковская ул., д. 3, Всесоюзному научному совету по радиофизи-

ке и радиотехнике при Отделении физико-математических наук Академии наук СССР.

Положение о медали имени А. С. Попова было опубликовано в журнале «Электричество» (№ 5, 1946).



Харьковский электротехнический институт

В ученом совете ХЭТИ защищены следующие диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук за период с 1940 г. по июнь 1946 г.:

И. Я. Кагна защитил 9 июня 1940 г. диссертацию на тему: «Индукционные системы синхронной связи на переменном токе постоянной частоты».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Г. И. Штурман и доктор физико-матем. наук, проф. А. М. Эфрос.

Проведены дальнейшее развитие и уточнение теории индукционных систем, принципиальные вопросы которой сформулированы в монографии проф. Г. И. Штурмана «Индукционные машины в системах электрических валов (сельсины)». Обоснованы положения о том, что оптимальные соотношения параметров, обеспечивающие наибольшую чувствительность элементов при синхронизации, одновременно являются критерием предотвращения разбега при выпадении из синхронизма. Показаны условия возможного опрокидывания момента при одностороннем включении на сеть индукционной системы. Дано решение задачи о соотношениях параметров, обеспечивающих максимальную чувствительность дифференциальных сельсинов. Развита теория режима системы при трехфазном питании в условиях однофазного включения вторичных цепей. Весьма интересен также анализ работы самосинхронизирующейся системы при однофазном включении первичных и вторичных цепей элементов связи.

В. А. Клемин-Шаронов защитил 7 мая 1941 г. диссертацию на тему: «Процессы управления при применении трехобмоточного генератора в системе Леонарда».

Официальные оппоненты: проф. Б. Ф. Вашура и доц. В. И. Ильинский.

Рассмотрен вопрос о применении трехобмоточного генератора в схеме Леонарда для системы загрузки доменных печей, экскаваторов и пр. Дан анализ статистических характеристик и подвергнуты рассмотрению основы выбора параметров генератора. Один из разделов посвящен анализу переходных режимов с применением операционного метода Хевисайда. Выведенные формулы позволили определить характер процессов и дать некоторые рекомендации по выбору параметров цепей. Изложена методика вычисления для конкретных примеров и дано сопоставление расчетов с опытной проверкой. Сопоставление подтвердило практическую применимость предлагаемых методов расчетов и выбора параметров.

А. М. Бреслер защитил 7 мая 1941 г. диссертацию на тему: «Защита статора генераторов при замыкании на землю».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. Н. Ф. Марголин и доц. Ф. А. Ступель.

Рассмотрены вопросы анализа и расчета защиты генераторов при замыкании на землю с учетом влияния ошибок фильтра тока нулевой последовательности фаз, причем была поставлена задача разработки метода, допускающего возможность выбора оптимального исполнения реле. Установлена аналитическая зависимость между параметрами реле максимального тока или мощности, пара-

метрами трансформаторов тока и током замыкания на землю, что позволяет при проектировании защиты с достаточной точностью аналитическим путем рассчитать и выбрать оптимальные параметры элементов схемы защиты, а при разработке серии реле—выбрать целесообразные модификации реле. Этот метод анализа может быть применен для любых схем защиты с фильтром тока нулевой последовательности фаз.

Ф. И. Ахонин защитил 11 июня 1941 г. диссертацию на тему: «Каскадные соединения асинхронного двигателя с машинами постоянного тока».

Официальные оппоненты: проф. А. А. Скоморохов и кандидат техн. наук, доц. А. П. Борщов.

В печатных трудах, посвященных обследованию режимов асинхронной машины в каскадах Кремера и Шербиуса, дается указание на наличие круговых диаграмм для токов статора. Однако, учет реактивных сопротивлений одноякорных преобразователей и омического сопротивления в главной цепи постоянного тока позволил установить факт более сложного характера кривых, определяющих геометрические места токов статора асинхронной машины. Экспериментальная проверка дала практически полное совпадение расчетных и опытных характеристик каскада в широком диапазоне скоростей. Произведенные расчеты привели к уточнению вопроса о распределении мощностей между асинхронным двигателем и машиной постоянного тока. Обследование перегрузочной способности агрегата позволило установить зависимость величин максимального момента от токов возбуждения одноякорного преобразователя и машины постоянного тока.

М. М. Красношарпа защитил 30 июня 1941 г. диссертацию на тему: «Пуск и регулирование скорости асинхронных двигателей изменением частоты».

Официальные оппоненты: проф. А. А. Скоморохов и кандидат техн. наук, доц. И. С. Рогачев.

Произведена оценка эффективности частотного пуска в ход короткозамкнутых асинхронных двигателей по сравнению с разгоном посредством включения на сеть с неизменной частотой. Для обоих случаев сформулирована зависимость показателей пускового процесса (время, потери) от соотношения параметров машины. При общей целесообразности частотного пуска с точки зрения снижения пусковых потерь и уменьшения времени разбега показаны некоторые практические условия, в которых пуск при переменной частоте не может дать значительного эффекта. Кроме того, произведен анализ рабочего режима короткозамкнутого асинхронного двигателя в условиях питания от асинхронного преобразователя частоты соизмеримой мощностью.

Л. Л. Пантюхов защитил 30 июня 1941 г. диссертацию на тему: «Работа индукционной машины в режиме однофазного конденсаторного двигателя».

Официальные оппоненты: проф. А. М. Эфрос и кандидат техн. наук, доц. М. М. Таращанский.

В результате проведенного анализа установлены наиболее целесообразные методы расчета разгонных характеристик. Аналитическое исследование скачков тока при мгновенном отключении однофазной конденсаторной машины не показало наличия сверхтоков. Показана возможность использования критерия устойчивости Рауса для оценки условий возникновения режимов самовозбуждения. Дано приближенное условие устойчивости однофазной конденсаторной машины, из которого получены критические скорости ротора, ограничивающие зону неустойчивой работы однофазной конденсаторной машины. На основе полученных уравнений может быть произведено исследование переходных процессов при повторном включении.

Н. А. Бабаков защитил 30 июня 1941 г. диссертацию на тему: «Движение электрической дуги в узкой щели».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич** и старший конструктор АТ ХЭМЗ инж. **В. С. Кузнецов**.

Задачей являлось: 1) исследование скорости движения дуги между двумя параллельными пластинами и влияния на скорость движения расстояния между электродами, напряженности магнитного поля и силы тока; 2) нахождение условий вхождения дуги в искрогасительную систему; 3) математический анализ сил, движущих дугу в узких поперечных щелях. Полученные результаты, дающие в ряде случаев неизвестные ранее закономерности, имеют значение при разработке сильноточных выключаю-

щих аппаратов с напряжением до 1 000 V (контакторов, автоматов), где воздействие дуги и способы ее гашения в сильной степени определяют надежность работы и конструктивные формы аппарата. Основным методом экспериментального исследования являлась ускоренная киносъемка в сочетании с осциллографированием.

И. С. Солодухо защитил 22 июня 1946 г. диссертацию на тему: «Работа главных контактов электромагнитных контакторов постоянного тока при включении».

Официальные оппоненты: доктор техн. наук, проф. **Р. Л. Аронов** и кандидат техн. наук, доц. **Б. М. Шмуклер**.

Рассмотрен механизм электрического износа контактов. Показано, что наиболее радикальным способом борьбы с износом контактов и привариванием их при включении является рациональный выбор параметров контактора, устраняющих вибрацию контактной системы. Дана зависимость, позволяющая определить влияние конструктивных параметров контактора на процесс вибрации контактной системы. Рассмотрены ударные реакции в осях контактора в связи с износом втулок (значительный износ втулок влияет на работу контактов). Дан метод расчета удара и определены ударные реакции в осях, а также определены условия, при которых оси контактора не испытывают удара.

Доктор техн. наук, проф. Г. И. ШТУРМАН



Книга „Электрические станции и подстанции“

Коллектив авторов под редакцией проф. А. А. Глазунова. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ. Издание второе, переработанное. Допущено Всесоюзным комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для энергетических институтов, Госэнергоиздат, 1944, стр. 456, цена 45 руб.

Рецензируемая книга представляет второе издание книги проф. А. А. Глазунова «Электрическая часть станций и подстанций», выпущенной в 1938 г. В книге имеется 4 раздела. Первый раздел содержит основные сведения о работе электростанций, подстанций и систем. Здесь рассмотрены вопросы о графиках активных и реактивных нагрузок, о диспетчерском управлении, планово-предупредительном ремонте, резерве и, наконец, о режиме работы нейтрали электрических систем.

Второй раздел посвящен аппаратуре распределительных устройств и содержит 13 глав. В пяти главах рассматриваются общие и теоретические вопросы электрических аппаратов (изоляция, нагрев, электродинамические силы, теория дуги). Следующие семь глав содержат описание различных категорий аппаратуры (выключатели, предохранители, разъединители, реакторы, измерительные трансформаторы). Последняя глава рассматривает вопрос о выборе аппаратуры.

Третий раздел посвящен электрической части станций и подстанций и содержит 6 глав. В них рассмотрены следующие вопросы: схемы коммутации, собственные нужды электрических станций и подстанций, источники вспомогательного тока на станциях, централизованное управление, конструкции распределительных устройств и заземляющих устройств.

Четвертый раздел дает основные сведения об эксплуатации электростанций, подстанций и систем и распадается на 7 глав. В них рассмотрены общие вопросы технической эксплуатации станций, подстанций и систем и специальные вопросы эксплуатации машин, трансформаторов и распределительных устройств.

Книга имеет 19 приложений и алфавитный указатель.

От первого издания книга отличается тем, что в нее включены разделы, посвященные электрическим аппаратам, которые заняли почти 35% объема книги, и разделы, затрагивающие эксплуатационные вопросы. Поэтому возникает вопрос о том, насколько соответствует такое изменение содержания книги изменению ее названия. Если раньше название книги более или менее соответствовало ее содержанию и можно было лишь говорить о деталях этого содержания, то теперь соответствие между названием и содержанием исчезло. Едва ли можно спорить по поводу того, что электрическая станция содержит не только электрическую часть, но также тепловую или гидравлическую часть. Однако, вопросы тепловой и гидравлической части электростанций в книге не затрагиваются, а потому приходится признать, что новое название книги не соответствует содержанию. Более того, следует указать, что даже электрическая часть станций и подстанций отражена в книге не полностью. Так, например, в ней совершенно не уделено места преобразовательным подстанциям и не указаны особенности подстанций промышленных предприятий. Не затронуты в ней также вопросы строительной части станций и подстанций и вопросы проектирования их.

Естественен затем второй вопрос: в какой мере уместны новые разделы в рассматриваемом учебнике? В предисловии к книге подчеркнуто строгое соответствие ее содержания программе курса «Электрическая часть станций и подстанций», читаемого в энергетических и в электротехнических высших технических учебных заведениях. В этом, следова-

тельно, лежит причина появления в книге новых разделов. Однако, это требование соответствия программе привело на наш взгляд к нарушению единства книги.

Курс электрических станций и подстанций является синтезирующим курсом. Он строится на материале многих ранее изученных курсов. Таковы применительно к электрической части станций и подстанций курсы электрических машин, сетей, токов короткого замыкания, релейной защиты и т. д. В ряду этих частных курсов мог бы быть и курс электроаппаратуры. Методически, и по теоретической и по инженерной основе, такая дисциплина сформировалась уже давно и имеет не меньше оснований для самостоятельного существования, чем курс релейной защиты или токов короткого замыкания. Курса электроаппаратуры по ряду причин и в том числе, повидимому, из-за боязни многопредметности в наших учебных планах нет.

Методика и изложение частных курсов обычно отличны от методики и изложения дисциплин, завершающих инженерную подготовку. Поэтому трудно соблюсти необходимое единство книги, если включить в книгу по электрической части станций и подстанций разделы, представляющие по существу особые частные курсы. В этом убеждает рецензируемая книга — второй ее раздел (об электроаппаратуре) методически не связан с прочим текстом книги.

Не лучше бы было при этих условиях, переиздавая курс по электрической части станций и подстанций, одновременно переиздать курс по электроаппаратуре и не объединять их общим переплетом, а выпустить две отдельные книги? Нам представляется, что последнее было бы лучше.

Включение в курс электрических станций и подстанций вопросов технической эксплуатации с принципиальной точки зрения правильно. Помимо законченности курса это должно вести к изложению вопросов эксплуатации на более высоком уровне и к более тесной увязке со всем материалом курса, чем при освещении их в особой книге. Однако, в четвертом разделе только главы XXIV—XXVIII относятся прямо к вопросам технической эксплуатации (с тем ограничением, которое уже содержится в сделанном выше упреке по заглавию книги). Сведения, сообщаемые в главах XXII и XXIII, более уместны в первом разделе книги, куда следовало бы внести сжатое изложение начал организации производства (не забывая, кстати, основ организации и планирования). В четвертом разделе следовало бы оставить только техническую эксплуатацию.

Последнее, связанное со структурой книги замечание относится к гл. XXI (о заземляющих устройствах). Она производит впечатление случайной по расположению среди других глав и по содержанию. Теоретические и общие положения, характерные для заземляющих устройств, а также и конструктивные указания об их выполнении подаются отлично от аналогичных групп вопросов, четко разделенных в главах о распределительных устройствах. Рабочие заземления, частично и не к месту, судя по содержанию шести предыдущих параграфов, рассмотренные в последнем параграфе гл. II, не получили нужного отражения в главе, специально посвященной заземлениям. Без внимания оставлены заземляющие устройства в установках низкого напряжения. Заземлениям разрядников и молниевыводов уделено только шесть строк на стр. 364.

Коллективу авторов явно не удалось в вопросы классификации и систематики, неудовлетворительно

изложенные и не составившие организующего начала в главах о графиках нагрузки, о собственных нуждах, о схемах коммутации и об организации эксплуатации.

При изложении основных вопросов курса использован часто простой путь — описания, примеры, констатации. Даже основная глава «схемы коммутации» построена больше на описаниях, чем на анализе. Лучше других в этом отношении главы о конструкциях распределительных устройств и электрических аппаратов.

Во многих местах книги изложение носит характер копильного пересказа имеющихся руководящих указаний по проектированию, правил технической эксплуатации, практики проектных организаций; вообще говоря, книга дает своеобразную рецептуру. Таковы главы об источниках вспомогательного тока (практика Теплоэлектропроекта—ТЭП), о заземляющих устройствах (правила устройства), об эксплуатации («Правила технической эксплуатации»), о схемах (практика ТЭП). Даже в тех пунктах, в которых, как можно предположить по данному в предисловии обещанию, отражены взгляды кафедры «Электрические станции» МЭИ, эти взгляды не вытекают из анализа, а приводятся в констатационной форме. Недостаточностью использования аналитического метода изложения объясняется и скудное освещение вопросов проектной методики, например, методики выявления режимов, выбора аккумуляторных батарей, выбора схем главных и собственных нужд, принципов построения схем вторичной коммутации и т. п.

Отмеченные дефекты книги весьма досадны, так как фактический материал, приведенный в книге (не говоря уже о материале, которым авторы, несомненно, располагают), достаточен для такой его переработки, при которой строгость и научность изложения были бы более сильно выражены при одновременном уменьшении объема учебника. Помимо излишних пространств повторений, известных из других курсов (например, из курса техники высоких напряжений—в гл. III и частично в гл. VII, из курса электрических измерений—в гл. XIX, из курса токов короткого замыкания—в главах IV, V и XVI, § 6 и 7), встречается очень много ненужных повторений текста самой рецензируемой книги в разных ее главах (главы первого раздела, XXII и XXIII и др.). Иногда дается устарелое изложение вопросов, имеющих более современную трактовку (VII, 3), или изложение элементарных сведений, излишних в курсе, завершающем подготовку студента (второй абзац второй колонки стр. 287, последний абзац стр. 289, первые абзацы стр. 290 и др.).

В книге встречаются ошибки и не вполне правильные указания. Таковы указания о построении ступенчатого графика, о приблизительном постоянстве электрической прочности воздуха (стр. 33), о том, что масло в проходных изоляторах более интенсивно охлаждает фарфор (стр. 37), о рекомендации схем рис. XVI, 35 и XVI, 34, о длительности периода пуска, и набора нагрузки станционными агрегатами, о заземлениях в скалистых грунтах и пр.

Авторы книги полагают, очевидно, что студент, изучающий и, тем более, изучивший книгу, не нуждается в обращении к другим источникам. Такое предположение возникает из-за отсутствия в книге каких-либо указаний на литературу. Содержание книги, несмотря на большой

ее объем, этого не оправдывает и отсутствие таких указаний надо признать весьма существенным упущением.

В литературном отношении книга удовлетворительна, хотя по языку отдельных глав выявляется авторство разных лиц. Подготовка к изданию коллективного труда требует тем большего внимания от редактора, чем больше авторов. При 9 авторах и 57 печатных листах объема книги можно легко себе представить большую работу, которую пришлось выполнить редактору в данном случае. Однако, в книге допущены такие недосмотры и промахи, устранение которых при подготовке рукописи к печати потребовало бы небольшого увеличения уже понесенного труда. К числу таких дефектов, кроме уже отмеченных, принадлежат, хотя и мелкие, но многочисленные неточности. Таковы: смешение понятий турбогенератор и турбоагрегат (XVII, 6), отождествление показателя степени с коэффициентом (XVII, 4), прямое несоответствие текстов (стр. 267—кубическая зависимость мощности от скорости вращения для механизмов вентиляторного типа, и стр. 250—квадратичная зависимость для тех же механизмов), отсутствие размерностей в числовых таблицах (XX, 5), использование выражения «число оборотов» вместо «число оборотов в минуту» или «скорость вращения» и целый ряд других шероховатостей. Требуется упоминания недопустимости в учебнике неправильного приведения иностранных слов. В сносках на стр. 193 читаем feed (вместо to feed), на стр. 196: transfer (вместо to transfer), на стр. 315: Halle (вместо die Halle) и др. Досадно также, что Герта Айртон упоминается, как «он», а не «она» (стр. 72). Техническое редактирование также не безупречно. Например, на рис. XX, 34 приведены размеры в футах, на рис. XX, 58 помещены две проекции одного и того же сооружения, а на рис. XX, 59 и XX, 60 два разреза в разных масштабах и т. п.

Книга представляет ценность по определенной выше направленности сообщаемых в ней сведений, по распространенности в нашей инженерной практике разбираемых в книге схем и конструкций, по близости указаний, приводимых в книге, к тем, которые содержатся в разного рода эксплуатационных и проектных инструкциях, правилах и т. п., по конкретности материала. С этих точек зрения книга может составить полезное пособие при подготовке специалистов, ориентированных на спрос со стороны организаций, проектирующих и эксплуатирующих электрическое хозяйство станций и подстанций. Следует подчеркнуть, что в книге подобран и освещен большой материал, и это потребовало огромного труда от составителей книги. Нельзя не отметить также трудностей составления подобной книги вообще.

Книга допущена в качестве учебника для энергетических институтов. С точки зрения авторов рецензии книга не может быть признана учебником по ее структуре, по использованной при изложении методике, а равно и по прочим данным, характеристика которых дана выше. Она является, как уже сказано, полезным учебным пособием, которым могут пользоваться студенты и инженеры.

*Проф. В. П. ИВАНОВ, проф. А. М. ЗАЛЕССКИЙ,
проф. В. В. БОЛОТОВ, проф. Н. Н. ЩЕДРИН,
доц. Я. Л. РУЗИН и доц. Е. Н. КИЗЕВЕТТЕР*

Ленинградский политехнический институт им. Калинина



Ответ на рецензию книги „Электрические станции и подстанции“*

Ознакомившись с рецензией группы профессоров и доцентов Ленинградского политехнического института им. Калинина на нашу книгу «Электрические станции и подстанции», считаю необходимым высказать свои соображения по некоторым основным вопросам, затронутым в рецензии.

В настоящее время книги, охватывающей все части электрических станций и подстанций, если не говорить о популярных изданиях, быть не может. Развитие техники потребовало бы издания по этому вопросу многотомной энциклопедии. С этой точки зрения каждому читателю должно быть ясно, что книга «Электрические станции и подстанции» посвящена только какой-то части специальных вопросов электростанций. Поэтому вряд ли уместно в рецензии отмечать несоответствие названия книги содержанию.

Серьезным вопросом, поднятым рецензентами, является вопрос о целесообразности включения раздела электроаппаратуры в книгу и в курс электрических станций. Опыт МЭИ в течение ряда лет показал исключительную ценность этого мероприятия. Только совместное рассмотрение электроаппаратуры и электрической части станций и подстанций позволяет правильно и достаточно глубоко изучить большинство вопросов. Требования к конструкции, работе и эксплуатационным качествам электроаппаратуры вытекают из условий работы электростанций. Компоновка схем коммутации, конструкций распределительных устройств и т. д. определяется свойствами аппаратов. Рассмотрение электроаппаратуры и электростанций раздельно поэтому недопустимо. Курс электростанций, включающий аппаратуру, должен читаться одним лектором. Если же раздел электроаппаратуры выделить другому лектору, то вряд ли можно ожидать нужных результатов.

В подтверждение можно привести в качестве примера комплексные распределительные устройства. В них аппараты являются элементами конструкции распределительного устройства. Разграничить здесь работу специалистов по электроаппаратуре и по распределительным устройствам невозможно. К сожалению, это положение у нас не получило нужного распространения и результатом непонимания тесной связи между аппаратурой, распределительными устройствами и схемами коммутации является то, что у нас не только не выгнано, но и не спроектировано ни одного современного комплексного распределительного устройства, ни одной комплектной подстанции. Инженеры, специализирующиеся в области электрических станций, обязаны ясно понимать взаимосвязь аппаратуры и электрической части станций. Они обязаны уметь сформулировать требования к комплектным подстанциям и распределительным устройствам. Они должны непрерывно требовать от наших заводов выпуска современной продукции.

Однако, не следует понимать, что по нашему мнению курс аппаратов, для специализирующихся по электроаппаратуре, нужно включать в курс электростанций. Но на этой специальности должен быть курс, читаемый после курсов по электроаппаратуре, углубленно рассматривающий конструкцию распределительных устройств, курс, в котором основное внимание сосредоточено на влиянии формы, размеров и т. д. электроаппаратуры на технико-экономические и эксплуатационные показатели распределительных устройств. Нельзя отрицать, что в книге взаимосвязь между электроаппаратурой и электрической частью станций и подстанций выявлена недостаточно. Причиной этого было, с одной стороны, наличие готовой рукописи по электроаппаратуре, а с другой — большой коллектив авторов. В курсах, читаемых в МЭИ, эта взаимосвязь выявляется значительно более развито и отчетливо.

Немаловажным является вопрос о многопредметности, который авторами рецензии явно недоучитывается.

* От редакции. В связи с тем, что учебно-методические взгляды ЛПИ и МЭИ на вопросы преподавания курса электрических станций и подстанций представляют интерес, редакция публикует наряду с рецензией на книгу ответ на эту рецензию.

вается. Многопредметность — большой дефект наших учебных планов.

Рецензенты указывают, что авторам не удалось вопросы классификации и систематики и что ряд разделов построен больше на описаниях, чем на анализе. Возьмем для примера главу о схемах коммутации, которая по мнению рецензентов составлена описательно, по принципу нарастания мощностей электростанций. С самого начала схемы строятся на основе логических рассуждений и дается обоснование того или иного соединения. Показано логическое развитие схем от простейших к сложным. Для ряда схем рассмотрены основные эксплуатационные переключения, которые выявляют преимущества и недостатки схем, их пригодность для тех или иных условий работы. Следовательно, студенты все время приучаются к анализу и изучению методики построения схем. Небольшое число схем, состоящих из уже проанализированных элементов, повторному анализу, конечно, не подвергается. Эти схемы являются иллюстративным материалом. Авторы не повинны в том, что простейшие схемы, которые должны разбираться в начале, применяются на менее мощных станциях, а более сложные на более мощных. Начинать изучение схем со сложных видов нецелесообразно. Предложение рецензентов вести изучение схем по элементам также нецелесообразно. Отдельные элементы схем просты. Вся сложность заключается в компоновке схем и потому только разбор схем в целом может научить правильному анализу и построению схем. Опыт МЭИ в течение ряда лет показал, что студенты, прослушавшие курс электростанций (прочитавший методически близко к написанному в книге), при выполнении дипломных проектов особых затруднений в компоновке схем не испытывают. Отметим при этом, что схемы коммутации в дипломных проектах очень часто имеют оригинальные компоновки, т. е. строятся не путем заимствования из книги, а путем логических рассуждений.

Остановимся на затронутой в рецензии главе об эксплуатации, про которую сказано, что она написана рецептурно, по «Правилам технической эксплуатации». В этой главе по нашему мнению даны: теоретические основы эксплуатации электрооборудования и технический анализ основ эксплуатации электроустановок. При рассмотрении этих вопросов приводятся ссылки на правила технической эксплуатации. Мы считаем это полезным, поскольку благодаря этому студенты еще в институте знакомятся с основным документом, которым им придется руководствоваться, работая в дальнейшем инженерами. Общность вопросов в книге и в правилах эксплуатации объясняется крайне просто. «Правила технической эксплуатации» объединяют весь опыт эксплуатации наших систем и игнорирование этого опыта было бы недопустимым.

Таким образом, с мнением рецензентов согласиться нельзя. Вместе с тем, нельзя утверждать, что все главы книги написаны однотипно.

Нам представляется, что основой возражений рецензентов послужило отличие их взглядов на ряд вопросов от взглядов авторов. Это является нормальным, поскольку существуют разные школы. Единства взглядов на многие вопросы, связанные с электростанциями, нет. Кроме того, методика преподавания курса электростанций в ЛПИ, по видимому, отличается от принятой в МЭИ. Однако, эти расхождения по нашему мнению не дают основания для утверждения, что наша книга не является учебником. При подобном подходе, избираемом рецензентами, ни один коллектив авторов не смог бы написать книги по электростанциям, которая бы получила общее признание в качестве учебника.

Профессор А. А. ГЛАЗУНОВ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, СТАНЦИИ И СЕТИ

Эксплуатация энергосистемы „грид“ в 1945 г. *Electrician*, стр. 1016, 19 апреля, 1946.

По данным годового отчета Центрального энергоуправления Англии (Central Board) выработка электроэнергии по всем электростанциям общего пользования составила 37 276 млн. kWh, что на 2,8% меньше выработки за 1944 г., но на 53% больше выработки довоенного 1938 г. Около 99,1% всего производства энергии по электростанциям общего пользования в стране (без Шотландии) приходится на долю станций, работающих на объединенную энергосистему «Грид» (Grid).

В 1945 г. на указанную систему работали 193 электростанции. Система охватывала 8 250 км линий электропередач, в том числе—5 800 км с напряжением 132 kV и 2 450 км с напряжением 66 kV и меньше. 223 распределительные системы были непосредственно присоединены к «Гриду» и в свою очередь осуществляли электроснабжение присоединенных к ним 310 более мелких систем. Общая трансформаторная мощность 349 подстанций «Грид» составляла 13 646 тыс. kVA. По этим показателям, а также по суммарной мощности «избранных» электростанций (11 316 тыс. kW) и годовому пиксу нагрузки (8 653 тыс. kW) «Грид» должна рассматриваться как одно из крупнейших объединений параллельно работающих станций. После войны имел место незначительный ввод новой мощности (170 тыс. kW, а за вычетом демонтажа—62 тыс. kW), некоторый рост соединительных участков 132-kV линий и охват электроснабжением новых районов.

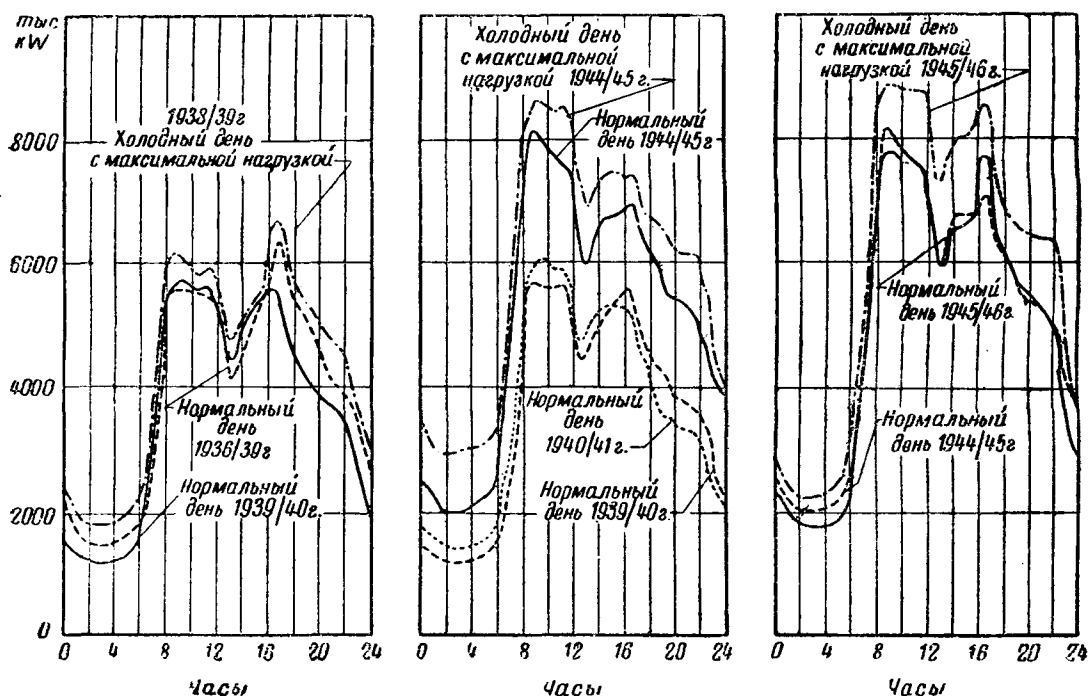
В разделе о техническом состоянии «Грид» отмечена удовлетворительная характеристика эксплуатации различ-

ных участков кабельного хозяйства электросистемы. Проведены испытания масляных выключателей 132 kV, показавшие возможность увеличения их разрывной мощности с 1 500 до 2 500 тыс. kVA. За истекший год имели место 682 повреждения в системе, потребовавшие защитных отключений. Число грозových нарушений на каждые 100 км составило в 1945 г.—0,60 в линиях 132 kV и 1,76—в линиях 33 kV (средние данные за 1936—1945 гг. соответственно—0,52 и 1,48).

В отчете отмечена стабилизация средних удельных расходов топлива для выработки электроэнергии при ухудшении условий топливоснабжения. За годы войны повысились цены на уголь и его зольность. Составляющая стоимость выработанного киловатт-часа за счет топлива с 1938 до 1945 г. повысилась на 125%.

На рисунке приведен ряд суточных графиков нагрузки, отражающих динамику нагрузок за годы войны. Суммарная пиковая нагрузка «Грид» возросла с 6,7 млн. kW в 1938/39 г. до 8,7 млн. kW в 1944/45 г. Коэффициенты заполнения в сутки максимальной декабрьской нагрузки не превышали до войны 0,7—0,73 и даже несколько понизились. Вследствие сдвига часовой стрелки максимум переместился с вечерних на утренние часы. В период покрытия зимнего максимума располагаемая мощность была на 16% ниже установленной (вследствие дефицита рабочей силы для производства плановых ремонтов и др.). Имеющиеся резервы мощности, по-видимому, рассредоточены на многих станциях с различной мобильностью. В 1945 г. не было ограничений потребителей в период максимума, но частота понижалась до 49,1 Hz, что эквивалентно снижению на 140 тыс. kW. Итоговый коэффициент использования максимума за год составил 45%, или 3 950 часов, что ниже уровня 1944 г. (47,6%).

Центральное энергоуправление наметило программу нового энергостроительства, частично одобренную правитель-



Изменения в характеристике среднесуточных графиков „Грид“ за годы войны.

ством. Ввиду недостаточности площадок для расширения существующих электростанций, основное место в этой программе занимает строительство новых станций. Намечено построить 18 новых электростанций, в том числе: одну — в 1946 г., 3 — в 1947 г., 6 — в 1948 г. и 8 — в 1949 г. Общий прирост мощности на новых и расширяемых электростанциях намечен в 4 619 тыс. kW. Однако, реализация этой программы находится под вопросом ввиду споров и несогласованности между электрокомпаниями, муниципальными организациями и др. в отношении размещения нового строительства. Из намеченного строительства отметим ввод крупных мощностей на станциях Брихэд — 2×50 , Дэнстон — 2×50 , Норт-Тийкс — 2×60 . Баттерси 1×60 Бромборо — 2×50 , Нечелс — 2×50 , Бэддингтон — 1×50 тыс. kW.

Кандидат техн. наук Б. Л. ЭРЛИХМАН

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТРАНСФОРМАТОРЫ

E. Hüter, E. Zimmermann. Метод точного определения вторичного напряжения трансформаторов путем измерения на первичной стороне. *Bull. ASE, стр. 91, № 3, 1945.*

Во многих случаях, например для высоковольтных испытательных трансформаторов, измерение первичного напряжения трансформаторов значительно проще, чем вторичного (или наоборот). Как известно, определение вторичного напряжения путем измерения первичного и его умножения на отношение чисел витков обмоток не всегда дает достаточно точные результаты.

Рассмотренный в реферируемой статье метод измерения основан на следующем принципе. Если в специальных цепях воспроизвести падения напряжения трансформатора и приложить их к первичному напряжению, то при любой нагрузке должно получиться вторичное напряжение. Таким образом, можно ограничиться измерением активных и индуктивных сопротивлений первичной и вторичной обмоток и затем надлежащим образом сложить соответствующие падения напряжения.

Если величины вторичной цепи трансформатора, приведенные к числу витков первичной обмотки, обозначить со штрихом, то можно написать:

$$U_2 = U_1 - I_1 R_1 - j I_1 X_1 - I_2' R_2' - j I_2' X_2'$$

Во многих случаях допустимо будет пренебречь током холостого хода, т. е. считать $I_0 = 0$, тогда $I_1 = I_2$ и

$$U_2 = U_1 - I_1 (R_1 + R_2') - j I_1 (X_1 + X_2')$$

Приведение величин вторичной цепи производится по известным уравнениям:

$$U_2' = \frac{U_2}{u}; I_2' = I_2 u; R_2' = \frac{R_2}{u^2}; X_2' = \frac{X_2}{u^2},$$

где $u = \frac{w_2}{w_1}$.

На рис. 1 приведена схема соединения для этого случая. Трансформатор тока w_1 с коэффициентом трансфор-

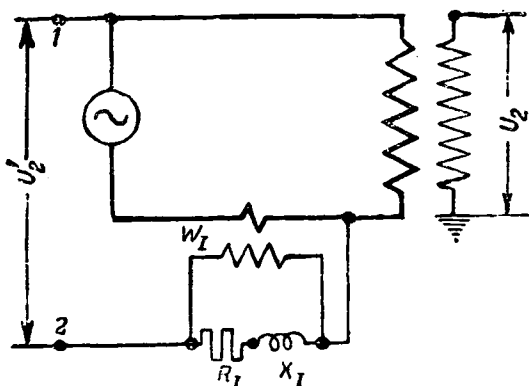


Рис. 1.

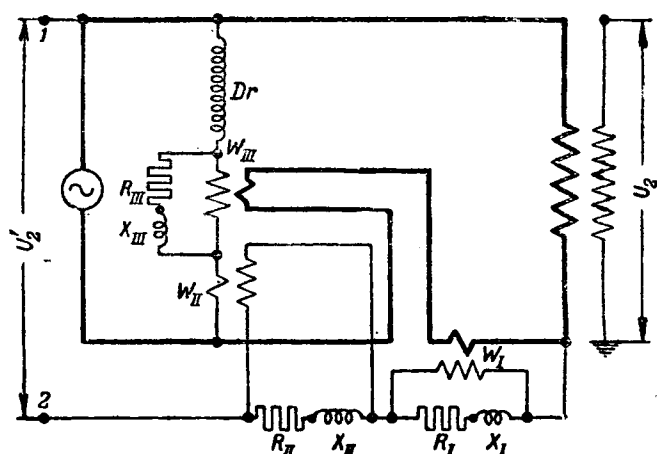


Рис. 2.

мации u_1 питает вспомогательную цепь с сопротивлениями R_1 и X_1 . Последние выбираются таким образом, чтобы они удовлетворяли условию:

$$\frac{I_1}{u_1} R_1 + j \frac{I_1}{u_1} X_1 = I_1 (R_1 + R_2') + j I_1 (X_1 + X_2'),$$

т. е. должно быть

$$R_1 = u_1 (R_1 + R_2'), \quad X_1 = u_1 (X_1 + X_2').$$

Добавляя к первичному напряжению падения напряжения $\frac{I_1}{u_1} R_1$ и $\frac{I_1}{u_1} X_1$ получаем между клеммами 1 и 2 приведенное к первичной стороне напряжение U_2' ; умножая его на $u = \frac{w_2}{w_1}$, получаем точное вторичное напряжение U_2 , однако без учета тока холостого хода.

Ошибка, обусловленная этим допущением, составляет: $f = I_0 (R_2' + j X_2')$. При этом в качестве критерия допустимости применения упрощенной схемы принимается вместо отношения $\frac{I_0}{I_1}$ отношение $\frac{I_0 (R_2' + j X_2')}{U_2}$.

Если, например, ток холостого хода достигает даже 20% первичного тока, то упрощенный метод во многих случаях все же может быть применен. Так, если вся э. д. с. рассеяния составляет 10%, из которых 8% приходится на первичную и 2% на вторичную обмотку, то ошибка будет не более: $f = 0,2 \cdot 0,02 = 0,004$, т. е. 0,4%.

На рис. 2 приведена схема, полностью учитывающая влияние намагничивающего тока. В этой схеме к первичному напряжению подключен дроссель с железом D_r , ток которого пропорционален току холостого хода трансформатора. Ток дросселя с помощью трансформатора тока w_{II} пропускается через сопротивления R_{II} и X_{II} и создает в них падения напряжения, соответствующие ошибке f . Поскольку намагничивающий ток, строго говоря, определяется не первичным напряжением, а э. д. с. трансформатора, то в цепь дросселя вводится с помощью трансформатора тока w_{III} э. д. с. рассеяния, пропорциональная первичному току, так что к дросселю приложено не напряжение U_1 , а э. д. с. E_1 .

Однако, разница между U_1 и E_1 обычно не превосходит нескольких процентов и поэтому практически во всех случаях можно обойтись без трансформатора тока w_{III} и сопротивлений R_{III} и X_{III} .

Описанный метод был опробован на сильно насыщенном трансформаторе, имевшем э. д. с. рассеяния 10% и намагничивающий ток 36%. Непосредственное измерение вторичного напряжения производилось с помощью омического делителя напряжения. Электродвижущая сила рассеяния, приходящаяся на долю вторичной обмотки, определялась по методу Berghau. Результаты применения но-

вого метода измерения показали, что во всем диапазоне напряжений и при любых нагрузках ошибка не превышала 0,2%.

Дальнейшая проверка метода была произведена на испытательном трансформаторе с напряжением в 500 кВ на вторичной стороне. При этом ввиду небольшой величины тока холостого хода этого трансформатора была осуществлена упрощенная схема измерения согласно рис. 1, т. е. без воспроизведения намагничивающего тока с помощью дросселя. Вторичное напряжение поднималось до 250 кВ и измерялось непосредственно с помощью емкостного делителя напряжения. Здесь ошибка в напряжении при любой величине и любом роде нагрузки также не превосходила 0,25%. Угловая ошибка была меньше 8 мп, т. е. в 2,5 раза меньше, чем максимальная угловая погрешность, допустимая согласно стандарту для трансформаторов напряжения класса точности 0,5.

Из снятых осциллограмм видно, что новый метод позволяет с большой точностью воспроизводить как эффективное, так и мгновенные значения высокого напряжения с помощью таких сравнительно простых средств, как трансформаторы тока, дроссели и сопротивления малой мощности и рассчитанные на низкие напряжения.

Инж. А. Г. КРАЙЗ

ЭЛЕКТРОПРИВОД

W. M. Brownlee, I. Q. Elzi. Электропривод вспомогательных устройств тепловых электрических станций. *El. Eng.*, стр. 741, № 11, 1945.

За последние годы получили широкое распространение питание собственных нужд тепловых электростанций через трансформаторы, включенные на генераторное напряжение блоков генератор—трансформатор. Такая система питания обладает неоспоримыми преимуществами в отношении первоначальных и эксплуатационных расходов как по сравнению с питанием от отдельного турбогенератора, так и от генератора, сидящего на валу главного генератора. При соответствующем выборе электродвигателей и их защиты обеспечивается должная надежность этой системы, при чем привод вспомогательных устройств почти полностью переводится на электропривод. Получаемая гибкость системы питания и высокая надежность электропривода позволяет свести к минимуму дублирование приводов ответственных механизмов.

Основным двигателем является асинхронный короткозамкнутый двигатель с нормальной кратностью пускового момента, пускового тока и максимального момента. Используются 3 рабочих напряжения 220 В, 440 В и 2 300 В. Первое—для двигателей малой мощности. Экономические расчеты с учетом стоимости двигателя, аппаратуры и распределительной системы, показывают, что напряжение 440 В целесообразно для двигателей до 75 кВт и 2 300 В для более мощных.

Трансформатор блока генератор—трансформатор доводит напряжение при коротких замыканиях до величины, достаточной для обеспечения бесперебойной работы двигателей во время аварийных переключений. С этой целью приводы с высоким пусковым моментом проверяются на возможность пуска при пониженном напряжении, а для приводов, момент которых быстро растет с нагрузкой, необходимо, чтобы кривая момента двигателя в функции скорости шла выше соответствующей кривой нагрузки при минимальном возможном напряжении. Применяемый пуск от полного напряжения упрощает и ускоряет аварийные переключения. Для приводов переменной скорости употребляются регулируемые муфты и в редких случаях турбопривод и двухдвигательный привод с промежуточным регулированием заслонкой.

Двигатели подключаются к шинам воздушными автоматами или масляными выключателями, снабженными максимальной защитой. Защита от повышения напряжения не требуется. Для наиболее ответственных приводов применяются контакторы с защелкой, препятствующей отключению двигателей и при значительном падении напряжения (свыше 50%). Тепловая защита ответственных двигателей работает на сигнал, мало ответственных—на отключение. Для двигателей, обслуживающих один производственный процесс, необходима блокировка, обеспечивающая последовательность пуска и торможения.

Инж. И. И. ШИПУЛИН

H. Gibson. Электродвигатели приводов постоянной и переменной скорости вспомогательных устройств центральных электрических станций. *El. Eng. (Trans.)*, стр. 746, № 11, 1945.

Для привода вспомогательных устройств центральных электрических станций применяются двигатели мощностью от 0,5 до 250 кВт и выше при напряжении от 220 до 400 В. Большинство приводов как постоянной, так и переменной скорости оборудуются асинхронными двигателями. Основным типом двигателя приводов постоянной скорости (вытяжные вентиляторы, питательные насосы котлов, форсунки) является асинхронный короткозамкнутый двигатель с нр-

мальными пусковым моментом и пусковым током: $\frac{M_n}{M_N} = 1,25$, $\frac{I_n}{I_N} = 6 \div 7$.

Для механизмов с большими маховыми массами и малыми моментами трогания (специальные вентиляторы, центробежные насосы, некоторые форсунки) находят применение

короткозамкнутые двигатели с $\frac{M_n}{M_N} = 0,5 \div 0,6$ при $\frac{I_n}{I_N} =$

$= 6 \div 7$, с характеристикой момента в функции скорости, длительно сохраняющей значение момента, близкого к максимальному, и позволяющей уменьшить время пуска. Вторым характерным типом электродвигателя является короткозамкнутый асинхронный двигатель с повышенным пусковым моментом. Такие двигатели применяются для привода механизмов, пусковой момент которых мало отличается от номинального (компрессоры, некоторые форсунки). В редких случаях, при особенно тяжелых пусковых условиях, применяются асинхронные двигатели с фазным ротором. Синхронными двигателями приводятся иногда лишь механизмы большой мощности при малом числе оборотов (воздушные компрессоры, некоторые насосы). Обычное в практике недавнего времени оборудование установок небольшой мощности синхронными двигателями с гидравлическими муфтами в настоящее время не применяется, так как преимущества этих двигателей в отношении $\cos \varphi$ и к. п. д. обычно не окупают удорожание устройства и усложнение управления.

Все вышеупомянутые приводы пускаются в ход от полного напряжения, что требует лишь некоторого усиления конструкции как в отношении крепления катушек, так и в отношении вала и подшипников.

Так как для регулируемых приводов (вытяжные вентиляторы, питательные насосы котлов) в большинстве случаев достаточно регулирование скорости на 20—30%, то основным типом регулируемого привода также является привод с асинхронными двигателями с металлическим или жидкостным реостатом в цепи ротора. Наряду с простотой и надежностью асинхронный двигатель дает высокую устойчивость.

При сравнении привода от многоскоростных двигателей с двухдвигательным приводом оказывается, что при учете аппаратуры управления первичная стоимость их примерно одинакова, однако применение двух двигателей повышает надежность.

Постоянный ток нужен лишь на устройствах подачи угля, например на скиповых подъемниках. Только гибкость характеристик систем постоянного тока может в этом случае обеспечить необходимую производительность. Обычно для этой цели применяется система Леонарда. Ионные электроприводы пока еще не нашли на электростанциях широкого распространения. Выводы о целесообразности их использования на электростанциях за отсутствием длительного опыта пока преждевременны.

Рассматривая привод к высокоскоростным вентиляторам и насосам на 1 800 об/мин (три 60 Hz) и выше, автор статьи недостаточно обоснованно приходит к выводу, что применение в этом случае низкоскоростных двигателей с повышающей скоростью зубчатой передачей может иногда дать экономии в первоначальных затратах.

Инж. И. И. ШИПУЛИН

С. J. Breitwieser. Приводы постоянного тока для генераторов самолетов, *El. Eng., Trans., стр. 763—767, № 11, 1945.*

На больших самолетах в настоящее время применяют переменный трехфазный ток с частотой 400 Hz. При переходе на такую электрическую систему возник вопрос о первичных двигателях для генераторов. Детальное рассмотрение возможных решений показало, что применение вспомогательной установки увеличивает вес самолета на 600 kg, поэтому решено было использовать для привода генераторов главные моторы самолета.

Моторы самолета работают со скоростью, меняющейся в пределах от 500 до 3 000 об/мин; при использовании их в качестве первичных двигателей для привода генераторов необходимо применение соединения с переменным передаточным отношением. Применяемые восьмиполосные генераторы переменного тока частоты 400 Hz требуют от первичного двигателя скорости 6 000 об/мин. При этом передаточное отношение между скоростями мотора самолета и генератора должно меняться в пределах от 1 : 12 до 2 : 1.

Устройство с постоянными передаточными числами не может быть использовано для поддержания постоянства скорости генератора. Так, применение коробки передач 10, 7, 5, $3\frac{1}{2}$ и $2\frac{1}{2}$ к 1 при скорости генератора 6 000 об/мин и изменении скорости главных моторов в пределах от 500 до 3 000 об/мин может обеспечить работу генератора на скоростях, которые будут меняться на $\pm 1 000$ об/мин. Кроме того, при использовании коробки передач параллельная работа генераторов возможна только с применением дополнительных гибких передач. Наиболее подходящим является привод, в котором передаточное отношение может меняться непрерывно и быстро.

Имевшиеся системы привода постоянной скорости при первичном двигателе переменной скорости слишком тяжелы и имеют малый к. п. д. Для установки на самолетах были разработаны две специальные системы — механическая и гидравлическая. В статье дано описание действия этих систем. Опытные образцы описанных передач были изготовлены и испытаны. Полученные данные позволяют ожидать, что производственные единицы таких передач будут иметь к. п. д. 85—95%, вес их будет меньше, чем 400 g на переданный kW, выходная скорость сможет поддерживаться с точностью $\pm 1\%$ в пределах изменения входной скорости от 500 до 3 000 об/мин, а объем их всего 780 см³ на переданный kW.

Инж. Е. Л. КОВАРСКАЯ

Ray. Энергия для управления орудийным огнем В-29. *GER, стр. 7—11, май, 1945.*

Самолет В-29 имеет электрическую систему постоянного тока. Часть оборудования системы управления орудийным огнем требует питания переменным током. Анализ основных требований, предъявляемых к этому оборудованию (компактность, минимальный вес, получение скорости в пределах от 8 000 до 12 000 об/мин), определил выбор частоты переменного тока в 400 Hz. Понадобилась специальная установка для преобразования постоянного тока в переменный ток этой частоты.

На военных самолетах в качестве преобразователей широко используются двигатель-генераторы. Для системы управления орудийным огнем наилучшим преобразователем оказался динамодвигатель. По внешнему виду и принципу работы динамодвигатель подобен двигателю постоянного тока. Он отличается от последнего наличием дополнительной обмотки переменного тока и имеет общую магнитную систему для работы двигателем и генератором. Это обстоятельство дает значительную экономию в весе, но делает характеристику машины со стороны переменного тока зависимой от общего потока. В результате этого регулирование скорости и напряжения динамодвигателя приводит к появлению высших гармоник на стороне переменного тока. Наличие этих гармоник при основной волне 400 Hz делает невозможной работу электронной аппаратуры. Поэтому скорость и напряжение динамодвигателя не регулируются.

Оборудование, входящее в систему управления орудийным огнем, приходится конструировать так, чтобы оно удовлетворительно работало в некоторых пределах изменения

частоты и напряжения. Это оказалось возможным и выгодным, так как применение динамодвигателя вместо двигатель-генератора дало значительную экономию веса и места.

Инж. Е. Л. КОВАРСКАЯ

„Queen Elizabeth“, *El. Times, стр. 693—696, № 3547, 1945.*

Большой океанский пароход „Queen Elizabeth“, законченный постройкой в начале второй мировой войны, имеет водоизмещение 85 000 t. Все оборудование корабля, за исключением лишь турбонасосов для подачи питательной воды в котлы, электрифицировано. Имеется четыре турбогенератора. Турбины — по 12 ступеней, 4 500 об/мин. Генераторы — постоянного тока, 2 200 kW, 225 V, соединены с турбинами через редукторы и работают при 600 об/мин. Генераторы рассчитаны на работу с перегрузкой 25% в течение 2 h и 50% в течение 5 min.

Все энергооборудование установлено в двух одинаковых машинных залах, на правом и левом борту. Каждый из этих залов представляет собой самостоятельную электрическую станцию.

Предусмотрена возможность параллельной работы обеих станций, а также перекрестной работы, т. е. питания потребителей левого борта от правобортной станции и наоборот. В нормальных условиях работы один агрегат всегда находится в резерве. Для аварийного энергоснабжения установлено два дизельгенератора по 75 kW, расположенные на верхних палубах.

Распределение электроэнергии производится через четыре главных фидерных щита и 50 вспомогательных распределительных щитов; предусмотрено шесть кольцевых магистралей вокруг всего судна. Вспомогательные распределительные щиты размещены на кораблю таким образом, что в каждом из самостоятельных отсеков корабля имеется свой собственный распределительный щит. Общая протяженность электрических проводов, уложенных на корабле, достигает 6 400 km. Кольцевые магистрали выполнены однофазным бронированным оцинкованным кабелем. Всего на корабле установлено около 650 электродвигателей, общая установленная мощность их около 15 000 kW.

Корабль оборудован электрическими: рулевым управлением, брашпилями, кабестанами, подъемниками для груза, багажа и почты, устройствами для подъема и опускания 26 спасательных лодок, громкоговорителями, подводными сигналами аппаратами, измерителями глубины, указателями направления вращения гребных винтов и количество оборотов их в минуту, радиопеленгатором, пожарной сигнализацией, сигнализацией тревоги, огнетушительной установкой и пр. Интересно отметить чрезвычайно тонкую регулировку числа оборотов электродвигателей насосов, подающих нефть к форсункам в котельной. В промежутке от 1 500 до 750 об/мин. они имеют 375 ступеней скорости.

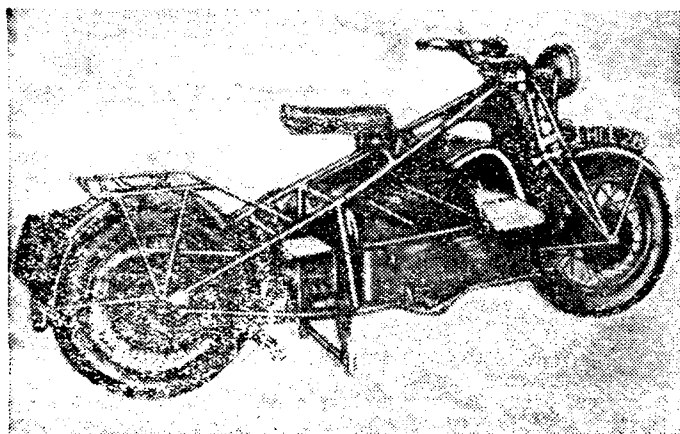
Для освещения (включая декоративное) установлено около 30 000 ламп. Для питания устройств связи и сигнализации установлено два мотор-генератора на напряжение 25 V и в качестве аварийного источника тока две батареи щелочных аккумуляторов, по 90 банок каждая, емкостью в 120 Ah.

Инж. А. Г. ФАЙН

Электромотоцикл. *El. Rev., стр. 657, № 3570, 1945; Motor-Cycle, 18 апреля 1946.*

Бельгийской фирмой Socovel построен и испытан электромотоцикл (рисунком).

Привод электромотоцикла осуществляется от тягового двигателя мощностью 2,6 л. с., питаемого от аккумуляторной батареи напряжением 36 V, располагаемой в середине рамы мотоцикла. Управление электромотоциклом производится от рукоятки с 3 фиксированными позициями, расположенной вместе с тормозным рычагом на руле. При повороте рукоятки управления вперед постепенно выводятся пусковые реостаты, и в третьем положении рукоятки тяговый двигатель оказывается непосредственно (без пусковых реостатов) соединенным с аккумуляторной батареей. При об-



ратном повороте рукоятки управления происходит торможение. Общий вес электромотоцикла 198 kg, в том числе вес аккумуляторной батареи 90 kg. Передача от тягового двигателя на заднее колесо электромотоцикла—цепная с передаточным числом 5:1. Колесная база электромотоцикла—1 500 mm; максимальная ширина 520 mm. Испытания электромотоцикла в эксплуатационных условиях дали удовлетворительные результаты. Электромотоцикл развивает на равнинном участке максимальную скорость в 32 km/h; радиус действия на одну зарядку аккумуляторов 65 km.

Кандидат техн. наук Ю. М. ГАЛОНЕН

ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ ПО ПРОВОДАМ

Влияние высоковольтных линий передач на телефонную связь. *The Electrician*, стр. 471—472, № 3518, 1945; *El. Rev.*, стр. 671, № 3546, 1945.

Итоги работы по изучению влияния линий высоковольтной передачи на линии связи в Англии за последние 10 лет (1934—1944) были доложены в Институте инженеров электриков.

За последние 8 лет установилась практика тщательной проверки трассы при прокладке каждой новой важной линии связи по отношению к ближайшим существующим высоковольтным линиям электропередачи. Был проведен ряд опытов для определения величины напряжения, индуктированного в линиях связи, и соответственно его опасности как для аппаратуры, так и для обслуживающего персонала. Замеры напряжений индуктируемых в результате взаимной индукции между параллельными линиями показали, что теоретические расчеты не соответствовали опыту, если не учитывалось эффективное сопротивление земли, а также экранирующее влияние проводов электрического тока (железнодорожные линии и пр.).

Вопрос об опасности индуктированных высоких напряжений малой продолжительности для оборудования связи исследовался в лабораторных условиях. Испытания напряжением 2 500 V, 50 Hz в течение 10—1 000 мкс показали, что обслуживающий персонал и абоненты могут при этом подвергнуться сильному акустическому удару. Удары малой силы гасятся обычно применяемыми аппаратами (медноокисного типа). Но при ударах, полученных при вышеуказанных напряжениях и большой продолжительности, такие гасители не смогли в достаточной мере уменьшить силу ударов и даже сами разрушались.

При крайне компактном расположении предохранителей на телефонных распределительных щитках одновременное срабатывание нескольких предохранителей и образование дуги может привести к пожару. Стандартные разрядники с термической катушкой и плавкими предохранителями представляют собой надежную защиту, но так как их иногда не применяют во избежание образования дуги на линейных щитках, то могут получиться очень крупные повреждения аппаратуры.

Испытания выходных трансформаторов на магистральных кабельных цепях связи, не имеющих разрядников, показали, что при напряжении 2 500 V в первую очередь разрушается не трансформатор, а кабель. Повреждение трансформаторов опасно в пожарном отношении, однако разрушение кабеля — авария более серьезная.

С точки зрения безопасности для аппаратуры можно допускать индуктированное напряжение даже свыше 300 V. Но такое напряжение опасно для обслуживающего персонала, в частности, монтеров, работающих на линии.

В изыскании средств борьбы с этими высокими напряжениями были получены довольно обнадеживающие результаты. Наилучшим средством считается сейчас многократное заземление линий связи по всей их длине через определенные интервалы, на период времени, пока в параллельной линии высоковольтной передачи имеется аварийный режим. Для осуществления этого мероприятия требуется приспособление, которое должно: срабатывать мгновенно, включать на землю одновременно оба провода линии и также одновременно их отключать, отключать линию от земли немедленно по исчезновении аварийного тока и пропускать без вреда для себя ток во все время аварийного режима силовой линии ток. Этим требованиям частично удовлетворяют трехэлектродные газоразрядные лампы. Однако, эти лампы имеют ряд недостатков: пробивное напряжение ламп неодинаково и после длительного бездействия они срабатывают с некоторым отставанием. Это не дает надежного одновременного действия обоих линейных электродов и поэтому не защищает от акустического удара. Лампы срабатывают при токах высокой частоты, возникающих при наличии на линии катушек Петерсона; не исключается возможность повреждения ламп при грозах; сопротивление в цепи земляного электрода должно быть достаточно малым, чтобы снизить линейные напряжения до сравнительно безопасной величины.

Для этой же цели испытывались специальные реле, включающиеся через искровые промежутки. Эти реле заземляли линию, пока продолжалась индукция, и отключали немедленно после ее прекращения. Опыты с реле этого типа еще не закончены.

Инж. А. Г. ФАЙН

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И НИЗКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА

G. M. Kevern. Резонансный регулятор тока постоянной величины. *El. Eng.*, стр. 807—810, № 12, 1945.

Аэродромная служба и служба эксплуатации в американском военно-воздушном и морском флотах и гражданской авиации применяли до 1940—1941 гг. для целей регулирования и поддержания постоянной величины тока в осветительных и сигнальных установках электромагнитные регуляторы тока с подвижными частями. На рис. 1 представлены характеристики этого регулятора, из которых видно, что первичный (питающий) ток примерно постоянен по величине

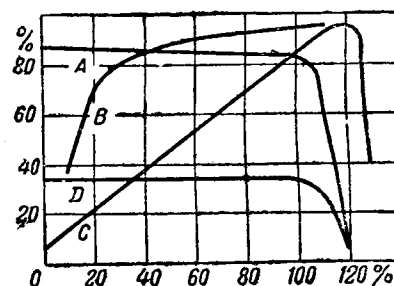


Рис. 1. Характеристики электромагнитного регулятора с подвижными частями.

A—первичный ток; B—к. п. д.; C—коэффициент мощности; D—вторичный ток. По оси абсцисс — первичная нагрузка, ток и напряжение в %, по оси ординат нагрузка в %.

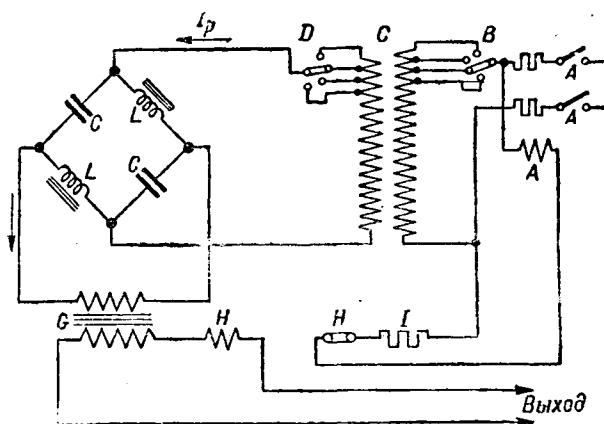


Рис. 2. Схема резонансного регулятора.

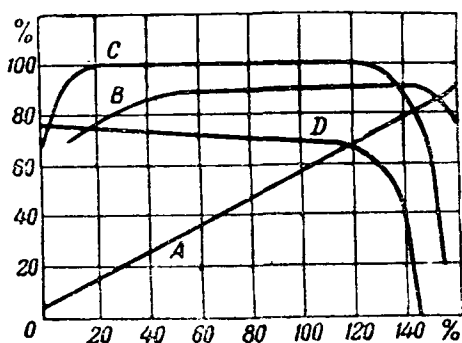


Рис. 3. Характеристики резонансного регулятора тока.

A — первичный ток; B — к. п. д.; C — коэффициент мощности; D — вторичный ток. По оси абсцисс — ток и нагрузки в %, по оси ординат вторичная нагрузка в %.

и не зависит от нагрузки, в то время как коэффициент мощности ($\cos \varphi$) установки и ее к. п. д. сильно зависят от нагрузки. Вторичный ток поддерживается неизменным в широком диапазоне изменения нагрузки, но форма кривой тока содержит высшие гармоники. Эти регуляторы сложны в изготовлении и эксплуатации. Указанные существенные недостатки электромагнитных регуляторов дали основание к замене их более совершенными — резонансными регуляторами.

Идея и теория регулирования величины тока с помощью резонансных мостовых схем была выдвинута и разработана еще в 1900 г. Steinmetz, однако отсутствие высококачественных конденсаторов затрудняло построение таких регуляторов. В 1940 г., когда удалось создать надежные конденсаторы, указанный способ регулирования тока (точнее, трансформации постоянного напряжения в ток постоянной величины) нашел широкое применение в США.

Результаты испытаний и опыт эксплуатации показали, что резонансные регуляторы вышли из стадии эксперимента, являются вполне удовлетворительными и могут применяться как стандартное оборудование.

Принципиальная схема соединений регулятора представлена на рис. 2. Для указанной мостовой схемы, при равенстве модулей сопротивлений емкостного и индуктивного плеч, без учета активных потерь, имеет место соотношение:

$$i_s = j \frac{\dot{U}_p}{X},$$

где I_s — вторичный ток (ток, получаемый от регулятора); U_p — первичное напряжение, подводимое к мостовой схеме;

X — реактивное сопротивление одного плеча моста.

Элементы, указанные на рис. 2, имеют следующее назначение: промежуточный трансформатор G включается для предотвращения перенапряжений на зажимах вторичной цепи, которые могут возникнуть при полном отключении нагрузки. Входной трансформатор C имеет анцапфы на первичной и вторичной обмотках. Назначение анцапф B — из-

менение величины вторичного тока регулятора, анцапфы D служат для компенсации возможных колебаний первичного напряжения. Реле A и H обеспечивают отключение регулятора при полном исчезновении вторичной нагрузки. Добавочное сопротивление J служит для увеличения постоянной времени контура шунтового реле A (для увеличения времени действия этого реле на размыкание).

Результаты лабораторных испытаний (рис. 3) показывают, что вторичный ток, отдаваемый регулятором, при переходе от режима короткого замыкания к режиму номинальной нагрузки изменяется не более чем на 3,5%. Первичный ток почти точно пропорционален нагрузке. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) при изменении нагрузки от 25% до номинальной равен 100%, а к. п. д. мало зависит от нагрузки. При изменении частоты питающего тока от 60 до 50 Hz величина вторичного тока изменяется только на 3%. Кривые тока синусоидальны и не содержат высших гармоник. Зависимость работы регулятора от температуры ничтожна.

Инж. С. П. ИНОЗЕМЦЕВ

В. О. Austin. Выключатели для самолетных сетей. *El. Eng.*, стр. 58—60, № 2, 1946.

Разрыв цепей тока в сетях самолетного электрооборудования производится при пониженном атмосферном давлении (на больших высотах), наличии паров бензина и ряде других условий, весьма усложняющих проблему конструирования выключателей.

В США сконструирован выключатель, удовлетворяющий условиям работы на самолете в сети переменного тока 400 Hz. Это — трехфазный выключатель на номинальный ток 120 А при 208 В с управлением оперативным постоянным током 28 В. Время размыкания номинального тока порядка 0,005 сек. Контакты каждой фазы выключателя помещены в специальную камеру гашения дуги, в которой создается повышенное давление за счет тепла, выделяемого дугой при выключении тока. Для материала контактов использована композиция серебра и окиси кадмия, что уменьшает испарение металла. Контакты рассчитаны на 5 000 циклов работы при номинальной мощности и $\cos \varphi = 0,75$. В выключателе предусмотрены 6 блокконтактов для использования в контрольных цепях. В цепи включающего соленоида имеется блокконтакт, разрывающий цепь вспомогательного тока, когда выключатель замкнут. Выключатель помещен в герметический кожух, защищающий от грязи, воды и других посторонних элементов.

Работа выключателя проверена при следующих условиях: 1) уменьшения напряжения оперативного тока до 50% от номинального; 2) вибрации в виде простого колебательного движения с амплитудой 1,59 мм и частотой 10—55 периодов в секунду в течение более 3 ч; 3) колебаний температуры в диапазоне $-70^\circ \pm +60^\circ \text{C}$; 4) влажности 95% — 100% при температуре $+40^\circ \text{C}$ в течение 30 дней; 5) воздушного потока, насыщенного песком, в течение 5 ч.

Испытания показали надежную работу выключателя в указанных выше условиях.

Инж. А. Б. ТИМОФЕЕВ

КАБЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

С. М. Sherer, K. J. Granbois. Исследования переменных токов в оболочке кабеля и их влияния на коррозию свинцовой оболочки. *El. Eng.*, стр. 264, Tr., № 5, 1945.

В 1937 г. на электростанции в Safe Harbor выбыл из строя вследствие коррозионного повреждения один из восьми одножильных оцинкованных кабелей 13 kV сечением около 875 мм². Аналогичный случай повторялся на электростанции Holtwood с одним из шести оцинкованных кабелей сечением 750 мм².

В обоих случаях кабели уложены в фибровых кондуктах, в которые проникала вода. В первом случае оболочки кабеля были разрезаны и 4 секции, каждая в отдельности, были заземлены на медную шину. Во втором случае, при значительно более коротких кабелях оболочка

была заземлена в одной точке. Блуждающие токи электрической тяги в обоих случаях были исключены.

Вода в кондуктах была сильно щелочной, при pH равном от 9,5 до 11,6. Сопротивление воды из кондуктов на станции Holtwood $115 \Omega \cdot \text{см}$. Сопротивление оболочки по отношению к грунту $2,7 \Omega \cdot \text{см}$. Аналогичные условия имели место и на станции в Safe Harbor.

Свинцовая оболочка и медная шина в электролите — воде образовали пару, положительным полюсом которой для внешней цепи являлась медная шина. При отсутствии тока нагрузки в кабеле наблюдался постоянный ток до 8 мА в направлении от оболочки кабеля. При нагрузке кабеля величина этого тока менялась и при нагрузке свыше 1000 А изменялось направление тока и оболочка становилась катодом.

Для проверки предположения о возникновении электрокоррозии вследствие наличия выпрямленных токов были поставлены лабораторные опыты с медными и свинцовыми пластинами, погруженными в электролит — воду из кондуктов.

В результате опытов установлено наличие выпрямляющего действия в такой паре. Оно зависит от состояния поверхности свинцового электрода, причем по прошествии некоторого времени полярность выпрямленного тока меняется на обратную. В парах с новыми свинцовыми пластинами при переменном токе 1 А сила выпрямленного тока в направлении от свинца к меди доходила до 2,6 — 3,6 мА. Через 3 недели в тех же парах выпрямленный ток составлял 2,1 — 7,5 мА при направлении от меди к свинцу.

Наблюдения на месте показали, что после смены кабеля на станции в Safe Harbor постоянный ток составлял 2,7 мА при отсутствии нагрузки и доходил до 12 мА при полной нагрузке.

Лабораторные исследования приводят к заключению, что выпрямление может обеспечить самозащиту оболочки при нагрузке выше некоторого предела, однако свинец должен быть достаточно «отформован». Процесс «формовки» зависит от многих причин, поэтому нельзя сказать, когда условия защиты будут достигнуты.

Для предотвращения дальнейшей коррозии оболочек кабелей в обоих случаях была применена катодная защита. На станции в Safe Harbor питание установки производилось от 12 сухих элементов, включенных на до-полнительное сопротивление $4,2 \Omega$, снизившее для отвода тока при пробое кабеля, что требуется правилами защиты. Сверх того был сделан отвод воды из кондуктов и наложение на свинцовую резиновую оболочку в наиболее опасной зоне. На электростанции в Safe Harbor повреждение случилось через 3 года после укладки кабеля. Защита была установлена вскоре после аварии и в течение последующих 7 лет никаких повреждений не наблюдалось. На электростанции Holtwood повреждение произошло после 12 лет эксплуатации.

Исследование в целом показало, что причиной коррозии явилось совместное действие выпрямленного индуктированного в оболочке кабеля тока и гальванического тока, возможно в комбинации со слабым химическим воздействием.

Инж. Л. А. ВИСЛОУХ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

J. Goldstein. Конструктивные достижения и новые принципы в области измерительных трансформаторов. Bull. ASE, стр. 245, № 8, 1945.

Если первоначально при проектировании измерительных трансформаторов исходили из конструкций силовых трансформаторов, то в дальнейшем специфические требования, предъявляемые к первым, заставляли искать для них самостоятельных решений. При этом удалось, например, для трансформаторов напряжения достигнуть значительного уменьшения габаритов и веса.

В отношении трансформаторов тока основным требованием являлось повышение их электродинамической устойчивости. Для этого необходимо уменьшить в них число витков.

Этот вопрос может быть успешно разрешен путем применения «управляемого подмагничивания» (или противонамагничивания). При этом сердечник трансформатора тока разбивается на две части (рис. 1), которые намагничиваются

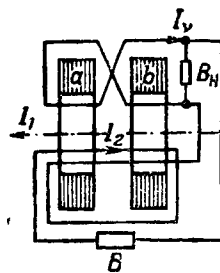


Рис. 1.

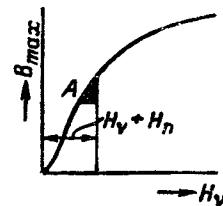


Рис. 2.

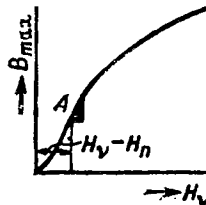


Рис. 3.

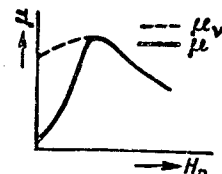


Рис. 4.

в противоположных направлениях током I_V , представляющим собой часть вторичного тока I_2 . Подмагничивание имеет целью придать железу возможно более высокую и постоянную магнитную проницаемость. Обозначим через H_V — подмагничивающие АВ/см, через H_n — АВ/см, необходимые для создания в сердечнике индукции B_n , пропорциональной напряжению на клеммах вторичной обмотки.

Для уменьшения погрешностей необходимо при данных индукциях B_n по возможности снизить H_n . При малых нагрузках обе части сердечника намагничиваются током I_V до рабочей точки А на кривой намагничивания. При возрастании нагрузки рабочая точка сердечника а сдвигается вверх, а сердечника b — вниз (рис. 2 и 3) в соответствии с необходимой индукцией B_n . Если точка А находится в наиболее крутой части кривой намагничивания (т. е. в зоне максимальной проницаемости $\frac{dB}{dH}$), то намагничивающая

сила H_n , требующаяся для этого сдвига, будет минимальной. Необходимо, чтобы во всем диапазоне измеряемых токов обеспечивалась работа в этой же части кривой намагничивания. Это достигается с помощью импеданса B_n . С возрастанием силы тока во вторичной цепи этот импеданс уменьшается с таким расчетом, чтобы ток I_V оставался примерно без изменения. Таким образом, удается обеспечить увеличенное намагничивание при максимальной магнитной проницаемости, а погрешности при одной и той же индукции B_n обратно пропорциональны проницаемости. Благодаря этому имеется возможность строить трансформаторы с меньшим числом ампервитков. Кроме того, этот метод подмагничивания позволяет существенно уменьшить погрешности, особенно при малых токах, в результате повышения начальной проницаемости (крутая кривая для μ переходит в более пологую кривую μ_V) (рис. 4).

Принцип применения подмагничивания для улучшения характеристик трансформаторов тока был предложен еще в 1914 г., но до последнего времени не нашел сколько-нибудь широкого применения. Однако, сейчас на основе проделанной исследовательской работы найдены практически приемлемые решения, схемы и методы расчета, закрепленные в ряде патентов, и многие фирмы выпускают трансформаторы тока разных типов с подмагничиванием.

В области усовершенствования трансформаторов напряжения основными являются вопросы изоляции, а также уменьшения весов и габаритов. В статье приводится краткое описание ряда конструкций трансформаторов напряжения современных типов: маломасляных с изоляцией между обмотками высокого и низкого напряжения из маслопроницаемой бумаги; сухих с фарфоровой изоляцией, а также трансформаторов напряжения с симметричной магнитной системой, имеющих преимущество перед трансформаторами с пяти- или четырехстержневыми магнитами с точки зрения схем защиты от замыканий на землю.

Инж. А. Г. КРАЙЗ

В первой части статьи, посвященной трансформаторам тока, автор описывает разработанный им новый метод компенсации погрешностей.

Предлагавшиеся ранее методы основывались либо на введении корректирующих ампервитков, либо на введении корректирующего тока во вторичную цепь. При этом основная трудность состоит в том, что величина поправки, требующейся при различных значениях первичного тока, изменяется не только по величине, но и по фазе. Поэтому эти методы не получили сколько-нибудь значительного распространения.

В противовес этому автор реферируемой статьи положил в основу своего метода введение во вторичную цепь трансформатора тока э. д. с., необходимой для преодоления полного сопротивления цепи и создания в ней тока. В этом случае во вторичной обмотке трансформатора тока индуцируется лишь очень малая э. д. с., следовательно, магнитный поток в его сердечнике также становится чрезвычайно малым и трансформатор работает с ничтожными погрешностями.

Компенсирующая э. д. с. получается с помощью специального компенсатора—вспомогательного трансформатора тока с тремя обмотками; первичной, включаемой последовательно с первичной обмоткой главного трансформатора; вторичной, включаемой последовательно со вторичной обмоткой главного трансформатора, и третичной, которая нагружается компенсационной нагрузкой в виде полного сопротивления, равного сопротивлению вторичной цепи главного трансформатора. При этом вторичная и третичная обмотки компенсатора имеют каждая половинное число витков по сравнению со вторичной обмоткой главного трансформатора тока.

Если учесть активное и индуктивное сопротивления обмоток, а также активную и реактивную составляющие полных намагничивающих ампервитков компенсатора, то величина компенсационной нагрузки должна быть несколько изменена по сравнению с указанным значением для получения во вторичной цепи нужной э. д. с. по величине и фазе при данном первичном токе. При других значениях первичного тока компенсация нарушается, однако, практически это не имеет значения, поскольку погрешности первого порядка в компенсаторе обуславливают лишь погрешности второго порядка в главном трансформаторе тока.

Произведенные измерения для ряда трансформаторов без компенсации и с компенсацией показали, что последняя позволяет резко снизить погрешности и делает их в некоторых случаях неизмеримо малыми. Исследования показали также, что при некоторых изменениях нагрузки трансформатора без соответствующих изменений компенсационной нагрузки погрешности, хотя и возрастают, но все же остаются значительно ниже погрешностей некомпенсированного трансформатора.

Наиболее важной областью практического применения данного метода компенсации погрешностей являются трансформаторы тока, встраиваемые в высоковольтные бушинги. Такие трансформаторы обычно имеют значительные погрешности вследствие сравнительно малой величины ампервитков и больших диаметров сердечника, что увеличивает намагничивающие ампервитки, причем увеличение сечения сердечника, в особенности путем увеличения его наружного диаметра, лишь незначительно снижает погрешности. В то же время применение компенсатора, сердечник которого может располагаться концентрически с сердечником главного трансформатора тока, позволяет значительно снизить его погрешности сравнительно простым путем.

Во второй части реферируемой статьи описывается метод измерения погрешности трансформаторов напряжения путем измерения разности погрешностей испытуемого и эталонного трансформаторов напряжения.

Третья часть статьи посвящена определению погрешностей трехфазных трансформаторов напряжения со схемой соединения «звезда-звезда» при любых нагрузках, исходя из результатов измерения при чисто активной нагрузке.

Инж. А. Г. КРАЙЗ

ЭЛЕКТРОТЕРМИЯ И ЭЛЕКТРОСВАРКА

1. Н. Blankenbuehler, R. V. Lester. Емкостная стабилизация электросварочного трансформатора. *El. Eng.*, стр. 54—55, № 2, 1946.

Электросварка на переменном токе в настоящее время применяется меньше, чем она могла бы применяться, вследствие чрезмерно высокого напряжения, необходимого для обеспечения устойчивого горения дуги. Простота и дешевизна преобразования электроэнергии на переменном токе с помощью трансформаторов заставили искать способов расширения области применения электросварки на переменном токе. С появлением обмазанных электродов напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги, снизилось до 70—80 В. Однако, указанное напряжение также является чрезмерно высоким и опасным для жизни сварщиков.

Считается практически безопасным напряжение для сварки на постоянном токе порядка 90—100 В; эффективное значение напряжения переменного тока, эквивалентное по безопасности, будет 65—70 В. Следовательно, электросварка на переменном токе при напряжении в 65—70 В будет практически безопасной.

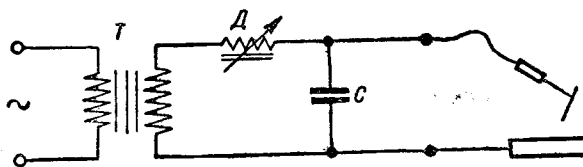


Рис. 1. Схема сварочной цепи с емкостной стабилизацией. Т—сварочный трансформатор; Д—дроссель С—стабилизирующий конденсатор.

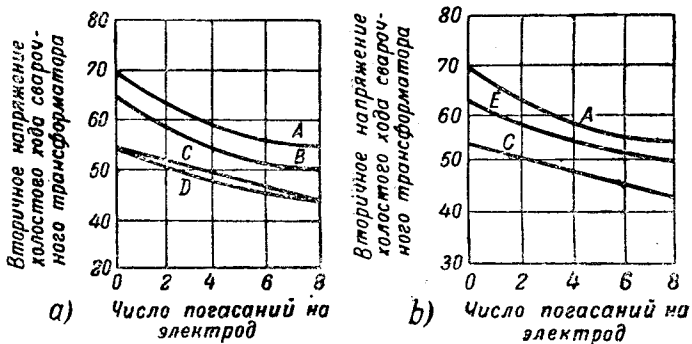


Рис. 2, а и б. Характеристика устойчивого горения дуги при емкостной стабилизации при 60 Нз, 180 А, электроды 3×18 дюймов марки 6020. По оси абсцисс отложено число погасаний на электрод, по оси ординат—вторичное напряжение холостого хода сварочного трансформатора. А—без емкости, В—с емкостью 60 мкФ, С—с 120 мкФ, D—с 180 мкФ, Е—с 12 мкФ и соединительным проводом длиной 60 м.

Проведенные испытания показали, что напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги, может быть снижено путем применения емкостной стабилизации вторичного напряжения сварочного трансформатора, согласно схеме рис. 1. Характеристики, представленные на рис. 2, показывают устойчивость горения дуги при различных емкостях стабилизирующих конденсаторов, а также влияние индуктивности длинных проводов, идущих от сварочного трансформатора к сварочному посту. Как видно, из характеристик, емкостная стабилизация позволяет снизить напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги, при емкости стабилизирующего конденсатора в 120 мкФ, до величины порядка 55—65 В.

Инж. С. П. ИНОЗЕМЦЕВ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Ed. E. Magbaker. Покрyтия для резисторов с проволоочной обмоткой. *Journ. American Ceramic Soc.*, стр. 329—342, V. 28, 1945. Покрyтие для резисторов. *Electronics*, стр. 370—372, № 6, V. 18, 1944.

Трубочатые резисторы (трубочатые сопротивления) с покрытием обмотки из проволоки, сделанной из сплава высокого сопротивления, слоем стекловидной эмали, принадлежат к числу выпускаемых заводами электропромышленности в массовом порядке изделий; они находят себе применение в самых разнообразных электрических схемах сильного и слабого тока. Однако, покрытие из стекломали имеет ряд недостатков — недостаточную стойкость к тепловым импульсам и механическим ударным нагрузкам, малую влагостойкость. В связи с этим за последнее время проводились большие работы по изысканию других способов выполнения проволоочных резисторов. Разработана конструкция, в которой обмотка наносится на предварительно покрытое стекломалью стальное основание; поверх обмотки наносится еще слой стекломали. Разработана также конструкция, в которой основание (трубка) резистора выполняется из весьма нагревостойкого цирконового фарфора, в качестве сплава сопротивления берется ковар (фернико) и обмотка покрывается стеклом типа пирекс; при этом достигается как стойкость к тепловым импульсам, так и значительная влагостойкость; некоторым недостатком такого резистора является довольно высокий температурный коэффициент сопротивления ковара. Рекомендуется также полная замена стекла в конструкциях трубочатых резисторов силиконом, который, в частности, обеспечивает особую влагостойкость покрытия.

Кандидат техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

S. T. Chapman. Производство конденсаторов из серебряной слюды. *Electronics*, стр. 146—149, № 11, 1945.

Весьма большое количество слюдяных конденсаторов выпускается с обкладками из тонкого слоя серебра, нане-

сенного непосредственно на слюду, методом «вжигания». Серебрение слюды производится на конвейерной установке. Пластины слюды укладывают на движущуюся ленту внахлестку, чем обеспечивается получение непокрытых серебром краев на краях пластинок, перпендикулярных направлению движения; края, параллельные движению, прикрываются длинными лентами. На поверхность слюды наносится жидкая паста с содержанием серебра и органической связкой, после чего пластины проходят через печь с температурой 600° С; органическая связка выгорает, а серебро прочно сцепляется со слюдой. При сборке конденсаторов серебряные пластины слюды укладываются стопкой в специальном приспособлении, причем соединение обкладок каждого знака производится при помощи лент из свинцово-оловянной фольги (10% олова), толщиной 12—25 м. Подгонка емкости высушенных секций производится путем сдвигания части серебряного слоя с наружной пластинки слюды. Допуск при подгонке берется в два раза меньше окончательного допуска, чтобы учесть изменение емкости при сборке в корпусе и опрессовке.

Сборка и подгонка производится в кондиционированном помещении при влажности не выше 40% и температуре 25° С. Запрессовка конденсаторов в пластмассу производится в многогнездных прессформах, с использованием таблетирования шпесспорошка; давление при прессовке 300 kg/cm², температура 150±10° С.

Конденсаторы, рассчитанные на применение в военной аппаратуре, должны допускать работу в диапазоне температур от —45 до +85° С, при влажности до 100%. Для повышения герметичности конденсаторов места вывода промазываются неопреновым цементом или винилитовым лаком.

Конденсаторы из серебряной слюды могут быть изготовлены с допуском по емкости до $\pm 0,50\%$ + 1 мкФ; температурный коэффициент емкости менее $15 \cdot 10^{-6}$ на 1° С. После ряда термических циклов (от —45 до +85° С) изменение емкости от начального значения не превосходит 0,05%.

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ

По страницам иностранных технических журналов

В статье о выборе базовых единиц для параметров синхронной машины. Ренкин указывает, что для базовых единиц параметров синхронной машины до сих пор в литературе существуют разные выражения, вследствие различия в принятом отношении эффективных ампервитков возбуждения к ампервиткам якоря. Выбор отношения эффективных витков равносильно выбору отношения базовых токов статора и ротора. Для выбора рациональной системы базовых единиц автор предлагает составить уравнения потокоосцеплений синхронной машины, отнесенные к продольной и поперечной оси ротора, в абсолютных единицах. В этих уравнениях взаимная индукция статорных цепей на роторные оказывается неравной взаимной индукции роторных цепей на статорные.

Автор предлагает выбрать базовые единицы для токов таким образом, чтобы в относительных единицах полученные уравнения потокоосцеплений имели взаимно равные выражения для коэффициентов взаимной индукции. Для равенства симметричных коэффициентов взаимной индукции нужно принять в качестве отношения эффективных витков якоря и обмотки возбуждения отношение тока возбуждения при холостом ходе при номинальном напряжении к полуторному пиковому номинальному току статора (для трехфазной машины).

Автор также показывает, что операционные реактивные сопротивления $x_d(p)$ и $x_q(p)$, выраженные в долях базового сопротивления статора, не зависят от отношения выбранных базовых токов статора и ротора. Автор исследует ошибки в определении реактивных сопротивлений машины по данным испытания в режиме короткого замыкания и уточняет эквивалентную схему синхронной машины, разработанную Лэнвилем (*El. Eng.*, август и декабрь 1945).

Построен турбогенератор с электронным возбуждением мощностью в 81 250 kVA для электростанции Springdale.

Для питания ротора используется выпрямительная установка, состоящая из 6 игнитронов и 6-фазного трансформатора. Трансформатор приключается к генераторным шинам. Возбуждение при пуске осуществляется от специального двигателя-генератора.

При электронном возбуждении скорость и чувствительность регулирования напряжения получаются весьма высокими. Автоматическое регулирование осуществляется по линейному напряжению генераторов в трех фазах. На это напряжение включаются трансформаторы напряжения, питающие сухие выпрямители типа Rectox. Выпрямленное напряжение действует на регуляторы типа Silverstat, которые в свою очередь воздействуют на смещение потенциала сетки тиратронов, регулируя тем самым момент зажигания анодов в игнитронах. На регулируемый потенциал смещения сетки тиратронов накладывается переменное напряжение постоянной амплитуды. Это позволяет обеспечить точную регулировку возбуждения помощью тиратронов (*Westinghouse Eng.*, стр. 17, № 1, 1946).

Разработан новый метод охлаждения статоров электродвигателей. Вместо воздушных каналов между пакетами ставятся листы тонкой меди, по своей форме похожие на сегменты активного железа, но имеющие большой наружный диаметр, так что создаются ребра, охлаждаемые воздухом, продуваемым по периферии активного железа. Этот метод охлаждения должен быть особенно эффективным для круп-

ных асинхронных двигателей с замкнутой вентиляцией, у которых величина внешней поверхности по отношению к объему железа сравнительно мала (*Westinghouse Eng.*, стр. 27, № 1, 1946).

Опубликованы данные по вспомогательному электроснабжению оборудованию современных кораблей США.

Турбогенераторы переменного тока для вспомогательных нужд на кораблях имеют мощность от 200 до 1 500 kW, и обычно состоят из турбины на 8 000 ÷ 10 000 об/мин и синхронного генератора на 60 Hz, 1 200 об/мин, с непосредственно соединенным возбудителем. Соединение генератора с турбиной осуществляется редуктором, имеющим двойной спиральный зуб.

Турбогенераторы постоянного тока имеют мощность от 60 до 750 kW, и приводятся во вращение турбиной, имеющей скорость вращения 6 000 об/мин, через редуктор с односторонним спиральным зубом. Генераторы выполняются обычно на 1 200 об/мин.

Дизельгенераторы насаживаются на общий вал с дизелем и имеют мощность 10 ÷ 500 kW для постоянного тока и 30 ÷ 850 kW для переменного тока 60 Hz. Скорость вращения этих машин обычно 600 ÷ 1 200 об/мин. Генераторы переменного тока имеют насаженные возбудители.

Машины рассчитываются на окружающую температуру 50° C и обладают влагостойкостью, маслостойкостью и стойкостью по отношению к соленому воздуху электрической изоляцией. Практически все генераторы переменного тока имеют выступающие полюсы.

Переходное реактивное сопротивление в генераторах переменного тока колеблется в пределах 17 ÷ 27%, сверхпереходное — 10 ÷ 13,2%, отношение короткого замыкания, как правило, больше единицы. Реактивность обратного следования фаз мала (в среднем 15%); скорость подъема напряжения возбуждения значительно выше, чем в обычных конструкциях. Во многих случаях применяется стабилизированный возбудитель нового типа, автоматически регулирующий напряжение главной сети (*El. Eng.*, сентябрь 1945).

Расширение предела регулирования скорости электродвигателей постоянного тока достигнуто введением новой схемы регулирования. Используется принцип раздельного питания полюсных катушек возбуждения. У четырехполюсных двигателей два соседних полюса питаются неизменным током, а магнитная индукция в двух других полюсах регулируется от максимума до нуля помощью специального сопротивления, включенного в цепь катушек полюсов.

При новой схеме регулирования удается получить регулирование скорости в пределах 8 : 1 вместо обычных пределов 4 : 1; отдаваемая мощность мало зависит от скорости вращения, так как внешнее напряжение, подаваемое на якорь, остается при регулировании постоянным (*Westinghouse Eng.*, стр. 25, V. 6, январь 1946).

Двухвальная газовая турбина мощностью в 11 000 kW построена фирмой BBC (Баден) для электростанции в Бухаресте. Турбина работает с открытым циклом.

Швейцарские фирмы считают возможным изготовление в промышленном масштабе газовых турбин мощностью до 100 000 kW для стационарных установок и до 15 000 kW для электродвижения судов (*Power*, ноябрь 1945).

Две экспериментальные линии электропередачи на трехфазном переменном токе 500 000 V длиной в 2,4 km каждая, в районе города Brilliant (штат Ohio) строит фирма American Gas and Electric Service Corporation, (*Westinghouse Eng.*, стр. 1, № 1, 1946; *El. World*, стр. 76, № 1, 1946).

Построен высоковольтный импульсный генератор для испытания обмоток трансформаторов на импульсную прочность.

Он рассчитан на 3 600 000 V и установлен в цехе сборки трансформаторов. Создаваемые импульсы имеют крутизну 1 000 kV/μsec. При испытании трансформатор подвергается сначала действию двух импульсов с указанной крутизной, затем испытывается двумя импульсами менее крутыми, но более продолжительными (*Westinghouse Eng.*, стр. 15, № 1, 1946).

Новый прибор для контроля герметичности сосудов позволяет обнаруживать утечку газа в 0,001 см³/h.

Устройство основано на принципе измерения термической эмиссии вольфрамовой нити. Нить помещается в вакууме и обдувается водородом, который проходит через места утечки. Увеличение концентрации водорода в вакуумной системе вызывает уменьшение эмиссии (*GER*, стр. 74, V. 49, № 1, 1946).

Автоматический контроль температуры с точностью до 0,014° C достигнут с помощью электронного устройства (*GER*, стр. 54, V. 49, № 2, 1946).

Развитие вакуумных термпарных устройств увеличило чувствительность и точность регулирования температуры в печах в 10 раз.

Новый прибор для регулирования температуры состоит из двух термпар, обладающих различной теплоемкостью, и электрического нагревательного элемента. Термпары заключены в вакуумированный сосуд. Этим достигается минимальное влияние температуры помещения, минимальное разрушение элементов прибора и нагревание термпар помощью лучеиспускания.

При регулировке температуры печи помощью устройства с одной термпарой имеют место большие колебания регулируемой температуры вследствие значительной теплоемкости объема печи. В новом устройстве обе термпары прибора и контрольная термпара в печи соединены последовательно таким образом, что термпара с меньшей теплоемкостью дает э. д. с. того же знака, что термпара в печи, а термпара с большей теплоемкостью — э. д. с. обратного знака. Обе термпары прибора находятся на равном расстоянии от источника нагрева в приборе. Нагревательный элемент прибора питается от той же сети, что и печь.

При новой системе регулирования колебание температуры, вызванное большой теплоемкостью печи, во много раз уменьшается (*El. Eng.*, август 1945).

Новое электронное устройство для сверхточных измерений вибрации, названное «Microbalanser», дает возможность измерять вибрации с амплитудой порядка 0,06 μ. Эта точность в 100 раз выше точности типовой балансировочной машины «Dynetric».

Микробалансер измеряет и устанавливает место небаланса весом в 0,0025 g при расположении небаланса на радиусе в 64 mm, на роторе весом в 4,5 kg.

Устройство применяется для балансировки сверхбыстроходных вращающихся деталей, в частности для гироскопов, применяемых в приборах управления огнем, навигационных приборах и стабилизаторах.

Зачастую вибрация вызывается помимо небаланса малейшими дефектами в сверхточных шарикоподшипниках. Эта беспорядочная вибрация, вызываемая дефектами в подшипниках, может быть в 100 раз больше, чем желаемая минимальная вибрация балансируемого ротора. С целью устранения влияния этой налагающейся вибрации при балансировке применяется специальный весьма чувствительный фильтр для фильтрации токов, вызванных случайными вибрациями. В устройстве используются фотоэлемент и стробоскоп. Величина небаланса измеряется с помощью ваттметра (*Westinghouse Eng.*, стр. 8, V. 6, № 1, 1946).

Разработан электромикрометр, позволяющий измерять диаметр шариков, предназначенных для шарикоподшипников в гироскопах, с точностью до 0,25 μ . Ввиду того, что изменение температуры в $\pm 2^\circ\text{C}$ вызывает большие ошибки, измерение ведется в помещении с весьма устойчивой температурой (*GER*, стр. 38, V. 49, № 2, 1946).

Современные устройства радиолокации обнаруживают самолет на расстоянии в 320 км и измеряют расстояние до него с точностью до нескольких метров, высоту его полета с точностью до 150 м и его направление с точностью до $1/2^\circ$.

Радиолокатор типа SCR-584 после установки на цель автоматически следит за движущейся целью и автоматически передает ее координаты и данные о ее движении на командный пункт.

Радиолокационная установка испускает электромагнитные импульсы продолжительностью в 1 μ sec и затем в течение 0,001 sec принимает отраженные от цели сигналы. Передатчик и приемник используют одну антенну и на время работы передатчика приемник должен быть отключен от антенны, либо закорочен во избежание повреждения. Сверхбыстрое включение и отключение передатчика осуществляется помощью устройства типа TR. Это устройство представляет собой игольчатый искровой разрядник, заключенный в сосуд с разреженным газом. При подаче импульса на напряжения искровой промежуток пробивается, закорачивая приемник. По окончании импульса разреженный газ в промежутке деионизируется за время в 4 μ sec, и приемник вновь вступает в действие. Помимо искрового промежутка предусмотрено специальное разрядное устройство с целью обеспечения небольшого количества ионов, необходимых для быстрого пробоя искрового промежутка при приложении импульса напряжения (*Westinghouse Eng.*, стр. 2, V. 6, № 1, 1946).

Новая лаборатория электроники Массачусетского технологического института разработала в конце 1945 г. обширную программу исследований на ближайший период. В программу входят исследования магнетронов мощностью в 10 тыс. kW с длиной волны в 10 см, одноанодных и триодных, волноводов и т. п. В области физики намечено изучение поглощения газами излучений с длинами волн 0,25 — 1 см; разрядов в газах при низком давлении на микроволновых частотах; магнитных и электрических свойств материалов при низких температурах на микроволновых частотах.

Намечается постройка сверхвысоковольтного бетатрона и ультразвуковой установки с частотой в 30 MHz, изготовление специального реле времени — синхронизационного устройства для импульсов продолжительностью в 10^{-3} sec. (*Electronics*, стр. 9, V. 19, № 1, 1946).

Осуществлена радиорелейная микроволновая связь на расстоянии 4 500 км. Это — первая радиорелейная микроволновая система, примененная на длинные расстояния. Система использует импульсную модуляцию, обеспечивающую высокую стабильность работы на длинных дистанциях. Оборудование изготовлено фирмой Western Electric Co.

В системе используется частота порядка 5 MHz. Волны могут быть концентрированы в острый луч и требуют для своей передачи прямого пути без препятствий. Система имеет 8 каналов для непрерывной передачи. Каждый из каналов вместо телефонной передачи может быть использован для телеграфной передачи, передачи рукописи или для передачи изображений (*El. Eng.*, стр. 462, V. 64, № 12, 1945).

Устройство для связи помощью импульсной временной модуляции обеспечивает либо одновременную передачу 24 двухсторонних телефонных разговоров, либо большое количество телеграфных передач, либо свыше 12 радиовещательных программ, передаваемых одновременно из одного широкоэмиттерного центра в пределах одного канала радиочастот.

При импульсной системе модуляции испускаются короткие высокочастотные импульсы, постоянные по амплитуде и

имеющие одну несущую частоту. Модуляция осуществляется подачей импульсов через определенные промежутки времени и последующей подачей сигнальных импульсов с различными интервалами во времени. Интервал во времени меняется со скоростью, соответствующей звуковым частотам передаваемых сигналов (*El. Eng.*, стр. 463, V. 64, № 12, 1945).

Разработана новая система телевизионной передачи в сочетании со звуковой. Передача осуществляется помощью коротких импульсов, имеющих волну с продолжительностью в микросекунды и аналогичных применяемым в современной радиолокации.

До сих пор передающая телевизионная станция обычно имела два передатчика: один — для передачи изображения, второй — для передачи звука. Слушатели также должны были иметь два приемника — для звука и для изображения. Так как телевизионная передача производится помощью многих отдельных весьма коротких импульсов с относительно большими интервалами времени между импульсами, то в промежутках между телевизионными импульсами удается поместить звуковые импульсы (*El. Eng.*, стр. 485, V. 64, № 12, 1945).

Все большее распространение в США находит применение силиконов.* Фирма Dow Corning широко рекламирует выпускаемую ею силиконовую электроизоляцию. Пробный электродвигатель с силиконовой изоляцией был подвергнут действию влаги и работал после этого при температуре 310°C в течение 2 000 час. без каких-либо повреждений.

Названная фирма выпустила новые силиконовые лаки. Силиконовый лак марки DC-996 имеет электрическую прочность от 60 до 80 kV/mm (при температуре 25°C и относительной влажности 50%), диэлектрическую проницаемость — 3 и коэффициент потерь (при 1 000 Hz) — 0,7%. Содержание основы в лаке 60% (по весу). Плотность лака — $1,05\text{ г/см}^3$, а вязкость 2—5 ps (при 25°C). Время сушки при 150°C составляет 1—4 часа. Новый лак весьма теплоустоек и влагостоек; он рекомендуется в качестве пропиточного лака.

Фирма Westinghouse проводит испытания электродвигателей постоянного и переменного тока с изоляцией из стеклянного волокна, слюды и асбеста, пропитанных силиконами. Эти испытания включают периодическое увлажнение изоляции, нагрузку и т. д. За два года испытаний ни один из двигателей не вышел из строя, хотя некоторые асинхронные двигатели проработали 3 000 час. при температуре в 300°C .

Та же фирма спроектировала электродвигатель для морского флота с силиконовой изоляцией мощностью в 2 800 kW при 320 об/мин в габаритах машины на 1 900 kW при 280 об/мин. Многообещающим по мнению фирмы является применение силикона для двигателей собственных нужд на электростанциях и для тяговых двигателей.

Некоторые силиконы похожи по цвету и вязкости на воду или на масло. Получены силиконы, имеющие консистенцию тавота, имеющие упругость резины. Силиконы не растворяются в воде, но растворяются в некоторых органических растворителях.

Силиконы с консистенцией тавота применяются с успехом для смазки подшипников при высокой температуре. Некоторые жидкие силиконы могут нагреваться до $+430^\circ\text{C}$ без испарения и могут быть охлаждаемы до -68°C , оставаясь жидкими (*El. Eng.*, стр. 5, V. 64, № 12, 1945; *Electronics*, стр. 268, V. 18, № 10, 1945; *Westinghouse Eng.*, стр. 10, V. 6, № 1, 1946; *Popular Mechanics*, стр. 40, V. 84, № 6, 1945; *GER*, стр. 11, V. 49, № 2, 1946; *Power*, стр. 190, V. 89, № 12, 1945; *El. World.*, стр. 79, V. 124, № 21, 1945; *Modern Plastics*, стр. 124, V. 22, № 3, 1944; *El. Eng.*, стр. 90, V. 64, № 3, 1945).

* О силиконах см. статью К. А. Андригаова и др. (Электричество, № 4, 1946).

Построены электродвигатели постоянного тока, якоря которых работают в высоком вакууме (порядка нескольких μ при температуре свыше 300°C). При проектировании было поставлено требование, чтобы якоря не выделяли газов, ухудшающих вакуум. Скорость вращения якорей — 1 200 об/мин. Обмотка выполнена из провода с изоляцией из стеклянного волокна, пропитанного силиконовыми лаками. После укладки обмотка запекается при 260°C для испарения летучих составных частей и выжигания органических материалов. Затем весь якорь проходит вакуумную пропитку и компаундировку под давлением в жидком стекле со слюдяной пылью с последующей повторной запечкой (*Westinghouse Eng.*, стр. 33, V. 6, 1946).

Опубликована статья, посвященная уходу за угольными щетками и токособирательным устройством в электрических машинах.

Автор рекомендует следующие давления на угольные щетки в электрических машинах (в g/cm^2): электрографитированные щетки—150 ÷ 210, угольные и угольнографитные—125 ÷ 175, мягкие графитные—50 ÷ 140, металлографитные (для контактных колец)—175 ÷ 250, угольные щетки в мелких двигателях с мощностью меньше 0,8 kW—280 ÷ 350, угольные щетки в тяговых двигателях—350 ÷ 450.

Автор дает рекомендации в отношении выбора угла наклона щетки при конструировании. При щетке, наклонной назад, рекомендуется выбирать наклон в 15° по отношению к радиусу коллектора. При наклоне вперед автор рекомендует выбирать угол в пределах 30 — $37,5^{\circ}$. Такой угол обеспечивает достаточно устойчивое положение щетки. Критический угол щетки с точки зрения устойчивости ее работы при наклоне вперед около 30° . При угле в 20° и меньше проявляется вибрация щетки. Приведена обширная таблица причин ненормальной работы щеток (*El. Eng.*, стр. 849, V. 64, № 12, 1945).

Для изучения старения металлов был применен электронный микроскоп; изучалось два сплава: медь с 2% бериллия и железо с 20% молибдена. С целью исследования на полированную травленную поверхность исследуемого металла наносилась тонкая пленка формвара. Отпечаток поверхности металла на пленке исследовался затем помощью электронного микроскопа.

Бериллий с успехом применяется в качестве окон для рентгеновских трубок, так как он пропускает «мягкие» лучи (с относительно большой длиной волны). Раньше для подобных окон пользовались литым металлом, однако крупнозернистая структура вызывала образование трещин на поверхностях стыка зерен. Прибавление титана улучшает зернистую структуру, но ухудшает прозрачность в отношении рентгеновских лучей. В настоящее время начали делать прочные окна с мелкозернистой структурой из бериллиевого порошка без титана (*GER*, стр. 13, V. 49, № 2, 1946).

В США расширяется применение катодной защиты для предохранения металла от электрохимической коррозии.

Катодная защита была впервые применена в 1936 г. для защиты от коррозии стальных резервуаров для воды. По сравнению с другими методами: применением коррозионно-устойчивых металлов и сплавов, защитными покрытиями, химической обработкой воды,—катодная защита имеет следующие преимущества:

1. Защита может быть налажена без вывода из строя установленного оборудования.

2. Защищаемые поверхности не требуют обработки и покрытия защитной краской.

3. Защита действует непрерывно по всей поверхности. В противоположность этому при применении защитных покрытий местные точечные дефекты в покрытии создают очаги ускоренной коррозии.

4. Уход и наблюдение за оборудованием катодной защиты и защищаемой поверхностью легки.

Электрохимическая коррозия создается местными токами, которые вызваны неравномерностью потенциалов на поверхности металла, погруженного в жидкость. Для предотвращения электрохимической коррозии обычно достаточно пропускать ток плотностью порядка нескольких микроампер на 1 cm^2 . Для осуществления катодной защиты в жидкость погружается одна или несколько металлических пластин или труб, которые служат в качестве анода. Защищаемый металл служит в качестве катода. Напряжение в большинстве случаев подается от сухих выпрямителей (*Рcwee*, ноябрь 1945).

Инж. Е. Я. КАЗОВСКИЙ



ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция журнала «Электричество» обращается с просьбой к организациям и лицам, у которых сохранились отдельные комплекты или разрозненные номера журнала «Электричество» за прошлые годы (начиная с 1880), сообщить о возможности приобретения этих комплектов или номеров журнала для пополнения редакционной библиотеки по адресу: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648, редакции журнала «Электричество».

ОБ ОФОРМЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ АВТОРАМИ В ЖУРНАЛ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

1. Материал, предназначенный для опубликования в журнале, должен представляться отпечатанным на машинке через два интервала (первый экземпляр) с одной стороны листа стандартного размера, с полями с левой стороны шириной в 3—5 см. Текст должен быть отчетливым, без помарок и вставок.

В отдельных случаях, по согласованию с редакцией, материал может представляться в форме безусловно четкой рукописи.

Иллюстрационный материал вместе с перечнем, содержащим все пояснения к рисункам, должен быть приложен отдельно. Каждый рисунок должен быть пронумерован (пример: Рис. 1 и т. д.) и иметь соответствующую пояснительную подпись.

2. Средний размер статьи может составлять 0,5—1 авт. листа (10—20 стр. текста на машинке); в необходимых случаях размер статьи может быть увеличен. Автореферат (краткое содержание научно-исследовательской работы) не должен, как правило, превышать 5—6 стр. на машинке.

3. К статье должна прилагаться аннотация (краткое изложение основных положений и выводов статьи) размером до 500 печатных знаков.

4. Статьи и авторефераты, сообщающие о результатах работ, проведенных авторами по заданию организаций, представляются вместе с письменным разрешением этих организаций на опубликование.

5. Представляемый автором оригинал должен быть тщательно проверен (особое внимание следует обратить на формулы и чертежи) и подписан, с указанием автором даты, своего полного почтового адреса и места работы.

6. Разделы (главы) статей и авторефератов должны выделяться особыми подзаголовками; соподчинение внутренних подразделов должно быть четко показано; в необходимых случаях желательно выделять некоторые места текста *курсивом* или *разрядкой*. Обобщающие работу выводы помещаются в конце статьи.

7. Вспомогательные математические выкладки и промежуточные преобразования формул, а также примеры расчетов выносятся обязательно в специальные приложения.

8. Обозначения единиц измерения должны соответствовать союзным стандартам (Электричество, № 1—2, 1945).

9. Формулы помещаются в отдельной строке, а не в строке текста. Формулы и обозначения показателей степени и индексов должны быть вписаны от руки чернилами, ясно и отчетливо. Особенно ясно должны различаться сходные по начертанию заглавные и строчные буквы (*C* и *c*, *K* и *k*, *O* и *o*, *S* и *s*, *U* и *u*, *V* и *v* и т. д.) и буквы, трудно отличимые в рукописном изображении: *e* и *l*, *I* и *J*, *g* и *q*, *n* и *и*, *V* и *U* и др., а также χ (греческая) и x , α и a (греческая).

Прописные (заглавные) буквы рекомендуется подчеркивать карандашом двумя черточками снизу (например, O), а строчные — сверху. 0 (ноль) не подчеркивать. Греческие буквы заключать в кружок карандашом.

10. Над символами комплексных величин следует ставить точки (например \dot{I}), над сопряженными комплексами \wedge (например \hat{I}), над векторами черту (\vec{H}).

11. При перечислении предпочтительно пользоваться цифрами и во вторую очередь буквами (русского алфавита).

12. Таблицы должны снабжаться заголовками и порядковыми номерами.

13. Сноски нумеруются (звездочек не применять) в порядке их последовательности в тексте.

14. Сокращения слов не допускаются, за исключением общепринятых известных сокращений: а) учреждений (ВЭИ, МЭИ и т. д.), б) терминов (тэс, к. п. д., э.д.с.).

15. Чертежи и графики вычерчиваются черной тушью на белой бумаге стандартного размера или на кальке. Графики могут быть выполнены на миллиметровой бумаге. Графики, предназначенные для расчетов, должны представляться на кальке. Для всех графиков совершенно обязательно нанесение сетки и значения делений. Обозначения величин должны быть указаны над осью абсцисс и с правой стороны оси ординат, а единицы измерения — под осью абсцисс и с левой стороны оси ординат. Стрелки по концам осей не ставить.

16. При заимствовании рисунков из опубликованных работ надлежит указывать литературный источник.

17. Цитируемые или рекомендуемые литературные источники должны быть приведены в конце статьи в виде библиографического указателя (Литература). Ссылки на источник в тексте сопровождаются взятыми в квадратные скобки буквой Л и порядковым номером источника в библиографическом указателе статьи, например: [Л. 3], [Л. 5]; ссылку на несколько источников указывать следующим образом: [Л. 1—4].

18. Библиографический указатель (Литература) должен составляться по следующей форме: а) для журналов — автор, название статьи, название журнала, номер, год; б) для книг — автор, название книги, издательство, год. После фамилии автора, а также после названия статьи ставится точка; остальные библиографические данные разделяются запятыми. Название книг статей и журналов в кавычки заключать не следует.

19. В ссылках на журнальные статьи слово «журнал» не пишется, страницы указываются только в случае необходимости. При обозначении года слово «год» опускается.

20. С другими особенностями оформления представляемых материалов можно ознакомиться при просмотре номеров журнала «Электричество» за 1946 г.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

**ОТКРЫВАЕТСЯ ПОДПИСКА
НА 1947 ГОД**

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

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

**Основан в 1880 году Русским техническим обществом
12 номеров в год по 12 печ. листов**

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников в широкой области исследования и применения электричества и освещает основные теоретические и практические проблемы, связанные с развитием всех отраслей электротехники и электрификации СССР

В журнале принимают участие:

Доктор техн. наук, проф. К. А. Андрианов, доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров, член-корр. АН СССР В. К. Аркадьев, доктор техн. наук, проф. Р. Л. Аронов, доктор техн. наук, проф. Г. И. Атабеков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Бабат, доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд, член-корр. АН СССР А. И. Берг, доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин, член-корр. АН СССР И. С. Брук, доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич, академик С. И. Вавилов, академик Б. А. Введенский, член-корр. АН СССР В. И. Вейц, академик А. В. Винтер, член-корр. АН СССР В. П. Вологдин, доктор техн. наук, проф. А. А. Воробьев, член-корр. АН СССР Б. М. Вул, доктор техн. наук, проф. А. А. Вульф, доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов, доктор техн. наук, проф. А. А. Горев, кандидат техн. наук П. Н. Горшков, проф. П. Г. Грудинский, доктор техн. наук, проф. Л. И. Гутенмахер, проф. Д. В. Ефремов, доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов, доктор техн. наук, проф. А. М. Залесский, доктор техн. наук, проф. А. Г. Иосифьян, академик А. Ф. Иоффе, доктор техн. наук, проф. И. Л. Каганов, инж. Е. Я. Казовский, доктор техн. наук, проф. П. Л. Калантаров, доктор техн. наук, проф. М. Д. Каменский, инж. Я. А. Климовицкий, кандидат техн. наук Е. Г. Комар, член-корр. АН СССР В. И. Коваленков, член-корр. АН СССР М. П. Костенко, член-корр. АН СССР Т. П. Кравец, академик Г. М. Кржижановский, инж. Ю. С. Кронгауз, член-корр. АН СССР К. А. Круг, академик В. С. Кулебакин, действительный член АН УССР С. А. Лебедев, доктор техн. наук, проф. С. О. Майзель, доктор техн. наук, проф. Э. А. Меерович, академик В. Ф. Миткевич, доктор техн. наук, проф. М. М. Михайлов, доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов, доктор техн. наук, проф. Л. Р. Нейман, академик В. П. Никитин, доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов, академик Н. Д. Папалекси, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров, доктор техн. наук, проф. Л. М. Пиотровский, доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов, доктор техн. наук, проф. В. К. Попов, доктор техн. наук, проф. С. А. Ринкевич, доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд, доктор техн. наук, проф. Л. И. Сиротинский, доктор техн. наук, проф. И. С. Стекольников, кандидат техн. наук И. А. Сыромятников, инж. А. И. Товстопалов, доктор техн. наук, проф. В. А. Толвинский, доктор физ.-мат. наук, проф. В. А. Фабрикант, член-корр. АН СССР Я. И. Френкель, доктор техн. наук, проф. Ю. С. Четет, член-корр. АН СССР М. А. Шателен, доктор техн. наук, проф. Е. Г. Шрамков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Штурман, доктор техн. наук, проф. Н. Н. Щедрин и др.

Подписная цена на год 96 руб.

Подписка принимается в отделениях „Союзпечати“ и на почте