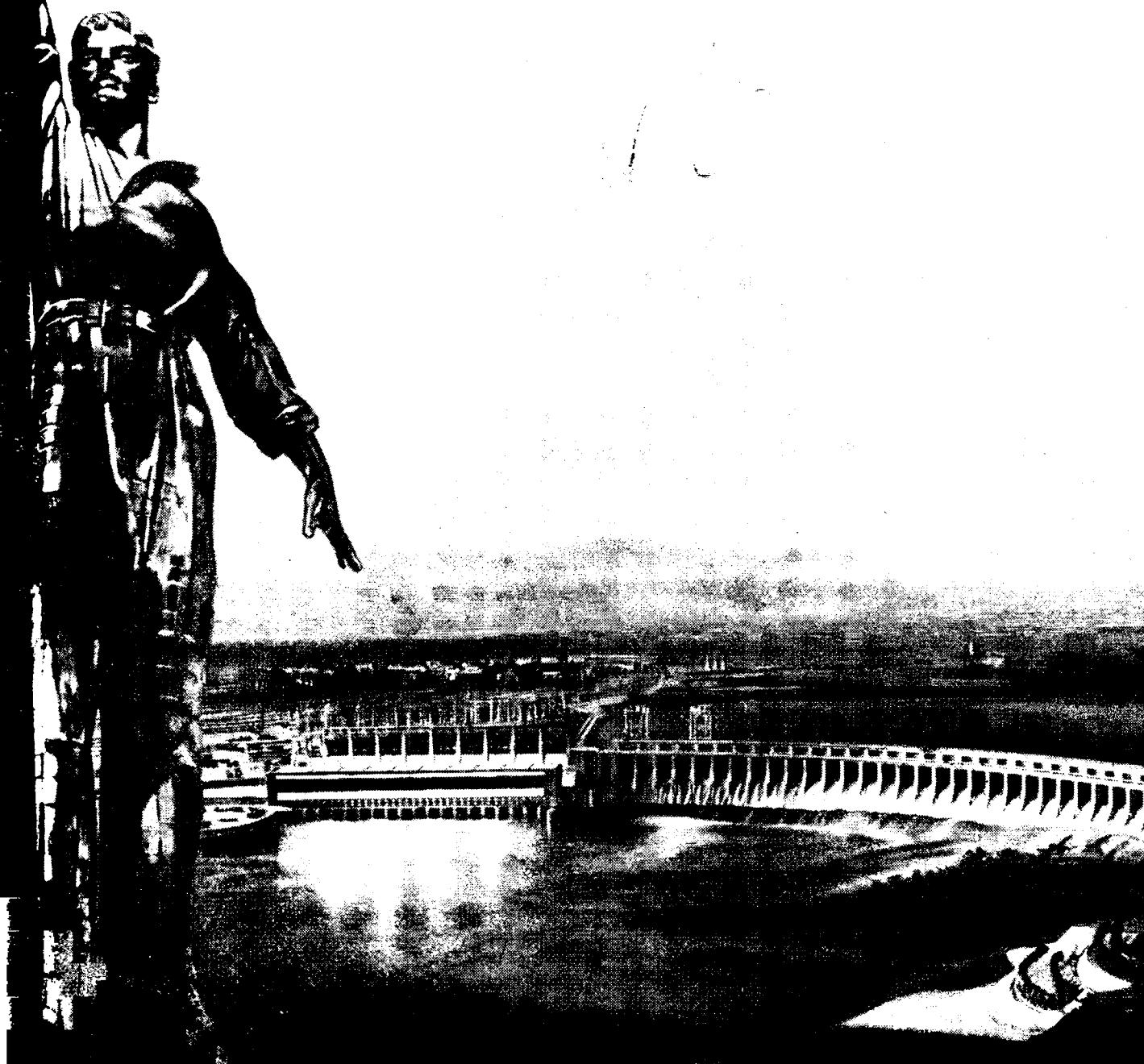


45
365457



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1939

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ГАНЧИК

6

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ГОД ИЗДАНИЯ 60-й

6

1939

ИЮНЬ

ОРГАН НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ И АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144, тел. В 5-32-79

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

Бороться за культуру на электростанциях и в электропромышленности СССР!

ЗАДАЧИ, поставленные решениями XVIII съезда ВКП(б) перед работниками электростанций и электропромышленности, представляют крупный раздел третьего пятилетнего плана развития народного хозяйства СССР. Определенный на третью пятилетку общий прирост мощностей в 9 млн. квт; прирост мощностей за счет новых небольших и средних электростанций, являющийся важнейшей частью строительной программы в области электрификации; усиление строительства гидроэлектростанций; развертывание строительства величайшего в мире сооружения Куйбышевского гидроузла; всемерное развитие высоковольтных электросетей и подстанций; дальнейшее расширение электропромышленности и энергомашиностроения; создание в промышленных районах постоянного энергетического резерва; широкое внедрение новейшей энергетической техники и, в особенности, автоматизации основных производственных процессов в электрохозяйство; строжайшая экономия топлива в электроэнергии и т. д.— все эти задачи требуют большевистской борьбы за выполнение плана и за производственно-техническую культуру на всех участках советской электроэнергетики.

Большие успехи и достижения электрификации ССР за период сталинских пятилеток нашли свое отражение в недавнем награждении лучших работников, стахановцев электростанций и электропромышленности орденами и медалями Союза, что свидетельствует о непрестанном огромном внимании партии и правительства к этой прасли народного хозяйства и ее людям. Успехи и достижения не должны, однако, вскружить голову нашим работникам, которые обязаны помнить об имеющихся еще серьезных недочетах в работе электростанций и электропромышленности.

XVIII съезд ВКП(б) обратил особое внимание на необходимость усилить по всему фронту борьбу с бесхозяйственностью, перерасходами потерь топлива и электроэнергии. Удельные расходы топлива и электроэнергии являются

одним из основных показателей уровня культуры эксплоатации оборудования в нашем электрохозяйстве.

В содокладе на третьей сессии Верховного Совета СССР по вопросу о государственном бюджете СССР на 1939 г. член бюджетной комиссии Совета Союза депутат К. И. Николаева сообщила, что «сверхплановые пережоги топлива по электростанциям и электропромышленности составили в прошлом году 717 тыс. тонн условного топлива, а в первом квартале 1939 г. — 47 тыс. тонн. Наркомат не организовал настоящей борьбы за экономию электроэнергии. В результате потери электроэнергии в сети за прошлый год составили 130 млн. квтч., а перерасход энергии на собственные нужды превысил установленную правительством норму на 82,9 млн. квтч.».

Если учесть в дополнение к этому наличие больших неиспользованных резервов экономии электроэнергии в ряде других отраслей народного хозяйства¹, то можно себе представить все государственное значение, которое приобретают в настоящее время вопросы экономии электроэнергии.

На собрании актива Наркомэлектропрома 13 мая с. г. народный комиссар электростанций и электропромышленности тов. М. Г. Первухин отметил, что многим электростанциям надо учиться у передовых: «Есть ряд станций, которые дают экономию по удельному расходу топлива и в то же время снизили затрату электроэнергии на собственные нужды: Каширская грэс при плане 7,9 проц. расходует 6,75 проц., Шатурская, имея план 6,61 проц., берет только 3,56 проц.».

Важнейшим показателем и первым признаком культурной работы и высокой трудовой дисциплины являются безаварийность электростанций и электросетей, бесперебойность электроснабжения. Этот участок работы, несмотря на некоторое

¹ См. статью проф. Е. А. Русаковского, Рационализация электропотребления в промышленности в журн. «Электричество» № 5, 1939.

улучшение, продолжает оставаться неблагополучным в нашем электрохозяйстве.

Как сообщил на собрании актива Наркомэлектропрома тов. Первухин, «количество аварий по сравнению с прошлым годом сократилось, но все же их очень много. На электростанциях Главюжэнерго аварийность почти осталась на старом уровне. Две трети числа аварий здесь произошло по прямой вине персонала. Мы должны добиться на станциях большевистского порядка, при котором невозможны были бы никакие аварии и неполадки. Чтобы надежно работать, надо привыкнуть каждого рабочего и инженера, на каком бы участке он ни стоял, совершенно точно выполнять инструкции по обслуживанию оборудования».

Большое значение в обеспечении безаварийной работы имеет также качество энергооборудования и запасных частей. Своевременное снабжение запасными частями является важным элементом успешного проведения ремонтов в энергосистемах. Этот участок также пока остается слабым местом нашего электрохозяйства. Многие заводы — Уральский турбогенераторный, «Электросила», Невский, «Красный котельщик» — считают изготовление запасных частей второстепенным делом.

Некоторые заводы относятся исключительно неряшливо и пренебрежительно к этому делу. Например, завод «Электроаппарат» выпустил экспансиион-шальтеры, которые оказались дефектными, а сделать к ним запасные части отказался.

Можно привести немало примеров недостаточного уровня культуры производства в отдельных отраслях электропромышленности.

В журнале «Электричество» (№ 2, 1939) отмечалось уже отставание ответственной отрасли советского электромашиностроения — производства ртутных выпрямителей. Завод «Электросила» им. Кирова имеет все условия для того, чтобы занять передовое место в мире по технике новейших мощных ртутных выпрямителей, на которых базируется электроснабжение электрифицированного транспорта, электрометаллургии и электрохимии. Однако насегда мощные ртутные выпрямители завода «Электросила», в частности, выпрямители с управляющими сетками, имеющие особо серьезное значение, все еще представляют собою недостаточно совершенные и не вполне надежные устройства.

Ртутные выпрямители требуют весьма высокой культуры производства (особенно вакуумной гигиены), что ярко показано в помещаемых ниже статьях начальника бюро ртутных выпрямителей завода «Электросила» инж. В. А. Крапивина, инженеров того же завода Н. Н. Петухова и В. И. Дроздова, а также инженера Днепровского алюминиевого завода Г. К. Цверавы. А между тем до сих пор на заводе «Электросила» этот участок не поставлен в надлежащие условия, и народное хозяйство СССР не обеспечено надежно работающими ртутными выпрямителями. До сих пор не удается заводу добиться выпуска

мощных ртутных выпрямителей с управляющими сетками, гарантированных от обратных зажиганий, природа которых не выяснена с полной отчетливостью. В этом деле заводу не оказываются нужной помощи научно-исследовательские организации — ВЭИ и Академия наук СССР. Возглавить технический прогресс, поднять на высокий научно-технический уровень производство ртутных выпрямителей — дело чести советских электротехников.

Культуру производства в электропромышленности можно двигать вперед, лишь совершившись технологические процессы. С организацией же правильного технологического режима на заводах — это также отметил на собрании актива Наркомэлектропрома тов. Первухин, — обстоит неблагополучно. На отдельных участках по существу нет никакой технологии, никакой продуманности поточности производства.

Директор Московского электролампового завода тов. Г. М. Цветков сообщил на активе Наркомэлектропрома факты, характеризующие отставание механизации на предприятиях электропромышленности. На Московском электроламповом заводе один агрегат обслуживает 14 чел., и выпускает этот агрегат в один час 1000 электроламп. В Америке такое же количество продукции выпускает агрегат, который обслуживает 7. чел. На Московском и Запрудненском стекольных заводах Наркомэлектропрома, выпускающих вместе 500 тыс. электроламп в сутки, работают 2500 чел., а в Америке также количество продукции в сутки дает автомат обслуживаемый 50 рабочими.

Эти факты говорят о том, что пора на электропромышленность вооружить по-настоящему передовой современной технологией, соответствующей задачам, выданным третьей пятилеткой.

Крупный недостаток в работе электропромышленности — отсутствие достаточной специализации заводов. На этом заострил внимание в своем выступлении на активе Наркомэлектропрома тов. А. И. Бертинов, директор Харьковского электромеханического завода им. Сталина. Для много напутали в определении профприоритетов. Так, ХЭМЗ и «Электросила» изготавливают огромное количество самых разнообразных машин и аппаратов, что затрудняет глубокую специализацию в области определенной продукции, затрудняет борьбу за культуру производства. Создание специализации в различных предприятиях электропромышленности — важная задача нового наркомата, которую в первую очередь надо иметь в виду при строительстве новых заводов.

Таким образом повышение производственной технической культуры в работе электростанций и электропромышленности должно вестись многим направлениям и требует больших у всего коллектива работников, вдохновленных великими задачами третьей сталинской пяти-

К новому подъему в работе электростанций и электропромышленности СССР *

М. Г. ПЕРВУХИН

Народный комиссар электростанций и электропромышленности СССР

Электростанции и предприятия Наркомэлектропрома выполнили план за четыре месяца 1939 года на 94,1 проц. Развернувшееся социалистическое соревнование имени Третьей Сталинской пятилетки сильно сказалось на результатах работы в последние месяцы. Если в I квартале задание было реализовано на 92,5 проц., то апреле — на 97,1 проц.

Электростанции выполнили план производства электро- и теплоэнергии за четыре месяца на 92 проц. Машиностроители реализовали план валовой продукции на 95,2 проц. Выпуск готовых изделий по заводам машиностроения за четыре месяца составил 92,3 проц. задания, а за апрель — 103,1 проц. В апреле большинство предприятий справилось с заданиями по готовым изделиям.

Итоги работы в марте и апреле показывают, что заводы и электростанции улучшили работу. Однако если сопоставить цифры выпуска валовой продукции с данными о готовых изделиях, осмотреть на качественные показатели электростанций, на номенклатуру изделий, то придется делать вывод, что работаем мы еще неудовлетворительно.

Главкотлотурбопром выполнил план по валовой продукции за четыре месяца на 80,4 проц., Главэлектромашпром — на 90,3 проц.

Главкабель — на 87,3 проц.

Только два главка — свароческой промышленности и теплоэлектроприборостроения — перевыполнили план. У отдельных руководителей предприятий сейчас появилось некоторое, безусловно, вредное, ложное, вызванное тем, что в апреле они выполнили и перевыполнили план по готовым изделиям. Выполнение плана достигнутое укомплектованиемрудования, снижения завершенного производа, использования заделов полученного в начале квартала.

Крана требует от нас строго соблюдать сроки изготовления агрегатов, держиваться номенклатуры в соответствии с заданием. В этом отношении еще много недостатков. Справившись с заданиями по турбо- и гидрогенераторам, силовым трансформаторам, электролампам, мы сильно отстаем с выпуском паровых котлов. За четыре месяца выпущено 38 тыс. кв. метров вместо 51 тыс. по плану. Не выполнен план по отдельным видам кабельной продукции, электродвигателям переменного тока, масляным выключателям и другим видам оборудования. Особо недопустимо отставание производства электродвигателей. План по ним за I квартал выполнен только на 64,4 проц.

Ознакомление с московскими и ленинградскими заводами показало, что у нас имеются серьезные недостатки в организации межцехового планирования. Основной порок здесь в том, что заготовительные цехи получают программу в один месяц с цехами, выпускающими готовую продукцию. Получается, что в первой половине месяца сборочные цехи не имеют полной нагрузки, рабочие простаивают, а во второй половине, когда заготовительные цехи дают полуфабрикаты, начинается гонка, штурмовщина. Надо установить такой порядок, чтобы заготовительные цехи для выполнения программы мая работали в апреле, на июнь — в мае, чтобы с первых же дней нового месяца сборочные цехи были полностью загружены.

С организацией правильного технологического режима на заводах также не благополучно. На отдельных участках по существу нет никакой технологии, никакой продуманной поточности производства. Сборка идет самым кустарным способом. Даже на таком прекрасном заводе, каким является «Динамо», сборка щитков и электродвигателей ведется изолированно, не по конвейеру. В технологии сборки распределительных высоковольтных ящиков «ЯЖ» ничего сложного нет. Таких ящиков стране нужно огромное количество, а завод «Электроаппарат» выпускает их всего полторы тысячи штук в год. Все дело в том, что производство плохо организовано.

Нужно решительно упорядочить дело снабжения заводов. Жалоб на большие задержки со снаб-



Из доклада тов. М. Г. Певухина на собрании актива Наркомэлектропрома СССР 13

жением очень много. По отдельным видам материалов и оборудования у нас действительно есть такие затруднения. Однако за своевременное получение материалов необходимо драться. При этом недопустимо, что некоторые предприятия хранят «на всякий случай» огромные запасы остродефицитных материалов. Ленинградский завод «Электрик», например, имеет излишек латуни квадратной больше, чем на квартальную программу; красной меди — в два раза больше, чем необходимо. На заводе «Электроаппарат» излишков материалов накопилось на 2 млн. руб., на «Севкабеле» — на 1,5 млн. рублей и т. д. Нужно принять действенные меры к мобилизации внутренних ресурсов. Излишки материалов и оборудования следует передавать другим предприятиям и стройкам, где их нехватает, пускать в общий оборот. Это улучшит не только снабжение, но и финансовое положение заводов.

Большего внимания заслуживает своевременная отгрузка готового оборудования. Нельзя забывать, что от своевременной сдачи агрегатов, машин и аппаратуры зависит пуск шахт, заводов, электростанций, а заводы это оборудование нередко подолгу держат у себя на складах. Помимо того, если завод быстро отгружает готовую продукцию, у него обычно здоровое финансовое хозяйство. Эта простая истина, к сожалению, еще не дошла до сознания ряда руководителей. ХЭМЗ, например, по циклу производства должен иметь на своих складах готовой продукции не больше чем на 9 млн. рублей, а накопил на 20 с лишним миллионов. На заводе «Севкабель» готовых изделий на 5 млн. рублей больше, чем полагается. Директора обязаны не задерживать готовое дефицитное оборудование. Запас не должен превышать установленных норм.

В работе электростанций и энергосистем одной из главных задач сейчас является образцовое проведение капитальных ремонтов оборудования и сетей. Весь ремонт необходимо закончить до 1 октября. Наступающий максимум 1939/40 г. надо встретить подготовленными. Однако этому участку еще не везде уделяется должное внимание. План по капитальным ремонтам основного оборудования электростанций и сетей выполнен за 4 месяца на 86,7 проц. (по турбинам). Впереди идут предприятия Главцентрэнерго (106 проц.), Мосэнерго, Ивановский и другие энергокомбинации соблюдают графики ремонта турбин и котлов. Но вот в Главвостокэнерго ремонт отстает.

Заводы наркомата не выполнили плана по запасным частям. А ведь от этого также зависит успех ремонтной кампании. Наши предприятия еще продолжают считать изготовление запасных частей второстепенным делом. Прежде всего это относится к заводам: Уральскому турбогенераторному, Невскому, «Экономайзер», «Красный котельщик» и «Электросила». Производство запасных частей — не менее важная задача, чем выпуск нового оборудования, и директива правительства — дать к 1 августа 70 проц. объема запасных частей — должна быть выполнена безоговорочно.

Электростанции — крупнейшие потребители топлива. Только донецкого угля они сжигают в сутки около 22 тыс. топлива. Много топлива зря. По плану полагается расход топлива

в 0,593 кг на 1 киловаттчас, фактически же в апреле было затрачено 0,603 кг. Все работники электростанций должны усвоить, что пережог топлива — это преступление перед государством. К числу растратчиков топлива следует отнести электростанции Дубровскую и «Красный Октябрь», которые за 3 месяца пережгли около 30 000 тонн условного топлива. Этому безобразию не может быть никакого оправдания. Наряду с такими предприятиями имеются станции, которые из года в год улучшают свое хозяйство и добиваются экономичного сжигания топлива. Каширская ггэс, например, при плане 0,523 кг расходовала 0,509 кг на один киловаттчас, Воронежский энергокомбинат — 0,577 кг вместо 0,605 кг, Ивановский энергокомбинат — 0,508 кг против 0,518 кг и т. д.

Затраты электроэнергии на собственные нужды еще велики. План расхода электроэнергии на собственные нужды по наркомату — 5,56 проц. а фактический расход составил 5,78 проц. Увеличение расхода электроэнергии объясняется плохой работой электростанций Дубровской Краснозаводской и других. Многим станциям надо учиться у передовых. Есть ряд станций, которые дают экономию по удельному расходу топлива и в то же время снизили затрату электроэнергии на собственные нужды: Каширская ггэс при плане 7,9 проц. расходует 6,75 проц. Шатурская, имея план 6,61 проц., берет только 3,56 проц.

Страна требует от энергетиков безаварийной работы, которая является первым признаком культурной эксплуатации и высокой трудовой дисциплины. Количество аварий по сравнению с прошлым годом сократилось, но все же очень много. На электростанциях Главюжэнерг аварийность почти осталась на старом уровне. Две трети числа аварий здесь произошло по моей вине персонала. Мы должны добиться станциях большевистского порядка, при котором невозможны были бы никакие аварии и неподобия. Чтобы надежно работать, надо привыкнуть к дого рабочего и инженера, на каком бы участке он ни стоял, совершенно точно выполнять конструкции по обслуживанию оборудования.

Производственная дисциплина на электростанциях еще слаба. На электростанциях Глаэнерго в феврале было 696 прогулов, в марте 849, в апреле — 639. Опоздания уменьшились значительно. Разгильдяйство и расхлябанье совершенно не совместимы с социалистическим порядком на таких ответственных предприятиях как электростанции.

Как идет капитальное строительство? Квартальный план выполнен только на 69,6 проц., авой за 4 месяца — на 20,5 проц. На строительстве Кураховской ГРЭС задание реализовано на 48,9 проц. Руководители строек еще не начали сосредоточивать внимание на решении объектах. На стройке 2-й Ленинградской ггэс турбина уже находится на площадке, а в машинном зале, где должен монтироваться этот агрегат, работает лишь 50 человек. При таком количестве рабочих машинный зал будет построен в текущем году. Общими усилиями работников и строителей мы обязаны быстро строить электростанции. Мы имеем возможность монтировать турбину в 2—3 месяца. Станции небольш

юсти в 12—24 тыс. квт можно строить в течение одного года и меньше.

Несколько слов о руководстве наркомата и главков. Отделы наркомата и главков еще не научились оперативно руководить заводами, а чаще всего только регистрируют совершившиеся факты. Руководители Главкабеля — самого отстающего главка в наркомате — не знают, что у них делается на предприятиях. Главкотлотурбопром еще не имеет необходимой связи с предприятиями. Главэлектромашпром допустил прорыв с литьем на заводе б. «Динамо». Необходимо перестроить руководство, приблизить главки наркомата к предприятиям.

Начавшийся в марте и апреле производствен-

ный подъем надо закрепить и вернуть стране долг по производству электроэнергии и оборудования. Уже сейчас требуется подумать о летнем периоде, принять все меры к тому, чтобы предотвратить текучесть, которая с наступлением лета может увеличиться. Мы должны закрепить рабочих и, где возможно, привлечь жен наших работников, обучить их и таким путем создавать устойчивые кадры.

Партия и правительство оказали нам, работникам энергетики и электростанций, величайшее внимание. Лучшие люди предприятий и электростанций награждены орденами и медалями Союза ССР. На эту заботу мы должны ответить большевистской работой.

ЗА ВНЕДРЕНИЕ ПЕРЕДОВОЙ ТЕХНИКИ

Печатаемая ниже статья академика А. Ф. Иоффе открывает собою серию статей, подготовленных Ленинградским физико-техническим институтом Академии Наук ССР для ознакомления читателей журнала „Электричество“ с некоторыми новейшими проблемами физики и электротехники.

Редакция

ПОЛУПРОВОДНИКИ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ И ТЕХНИКЕ

А. Ф. ИОФФЕ

*Ленинградский физико-технический институт
Академии Наук ССР*

ЕЩЕ СОВСЕМ недавно электротехника применяла, а физика изучала лишь предельные по своим электрическим свойствам материалы: хорошо проводящие металлы или непроводящие (изоляторы).

В начале XX века удалось установить, что в металле ток переносится электронами, а ничтожный ток, наблюдаемый в изоляторах, имеет электромагнитический характер. Однако после первых успехов электронной теории металлов и ионной теории диэлектриков исследование натолкнулось на трудности, которые удалось разрешить только с помощью новой квантовой механики на прошении последнего десятилетия.

Главнейшей трудностью в теории металлов были тепловые свойства. С одной стороны, электроны свободно перемещаются в металле, передавая электрический ток, выравнивая температуру, давая термоэлектродвижущие силы. Это значит, что в тепловом движении электроны участвуют, как самостоятельные частицы, движущиеся среди атомов металла. Нагревая металлы, можно сообщить энергию некоторым атомам, а

но и свободным электронам. Число их, судя по оптическим свойствам металлов, равно числу атомов. Электроны должны получить столько же тепловой энергии, сколько получил бы газ, состоящий из такого же числа молекул.

На нагревание одного грамм-атома твердого тела на один градус требуется около 6 cal, на нагревание грамм-атома газа — 3 cal. Естественно было бы ожидать, что на нагревание грамм-атома металла на 1° С потребуется 9 cal в отличие от непроводящих тел, теплоемкость грамм-атома которых составляет 6 cal. В действительности, однако, теплоемкость металлов не отличается заметно от диэлектриков.

Выход из этих противоречий, как и из ряда других трудностей, принесла квантовая механика. Как в отдельном атоме электроны могут занимать только строго определенные квантовые состояния (чем и объясняется, например, появление в спектре газов резких спектральных линий), так и в целом кристалле существуют строго ограниченные квантовые состояния, в которых могут находиться электроны. (Как в атоме, так и в

кристалле не может быть двух электронов в одном и том же квантовом состоянии.) Естественно, что прежде всего заполняются электронами состояния с наименьшей энергией. Подсчет показывает, что при обычных температурах, когда средняя энергия теплового движения атомов составляет около 0,03 eV (один eV — это энергия, которую приобретает электрон, пройдя в электрическом поле разность потенциалов в один V), — электроны занимают все квантовые состояния с энергиями от нуля до 5—10 V. Поэтому энергия теплового движения 0,03 eV мало влияет на среднюю энергию электронов, хотя последние и находятся в тепловом равновесии с атомами металла.

Квантовая теория выяснила также, чем обусловлена разница между проводниками и изоляторами. В металлах число возможных квантовых состояний значительно больше, чем число электронов. Поэтому когда в металле создается электрическое поле, электроны имеют возможность изменять направление своего движения, переходя в те квантовые состояния, в которых их скорость направлена в сторону действующей на них электрической силы. Электроны могут также получать от электрического поля работу, переходя в состояния с более высокой энергией и отдавая потом избыточную энергию металлу, — так происходит нагревание металла при прохождении тока.

Диэлектрики отличаются от металлов не меньшим числом электронов — их столько же, если не больше. Они не проводят тока только потому, что число квантовых уровней в них равно числу электронов и нет свободных. В диэлектрике в электрическом поле электрон не может изменить направления своего теплового движения, не может увеличить свою скорость, так как при этом он должен был бы перейти в новое квантовое состояние, которое уже занято другим электроном. Поэтому поле не может изменить теплового движения электронов и, следовательно, не может создать электронного тока. Такова физическая картина идеального изолятора.

Те состояния, которые мы рассматривали, были нормальные состояния электронов. В отдельном атоме мы знаем и другие (так называемые возбужденные) состояния. Поглотив определенную энергию падающего на атом света или встречного электрона, электрон может перейти в атоме на одно из квантовых состояний повышенной энергии. Возвращаясь обратно в нормальное состояние, электрон отдает избыток своей энергии другому атому или испускает его в виде электромагнитной световой волны (фотона).

Аналогичными свойствами обладают и электроны в твердом кристаллическом теле. Кроме системы нормальных уровней, которые в изоляторе заняты электронами, всегда существуют системы возбужденных уровней со значительно большей энергией. Только те электроны, которые получают достаточную энергию, могут перейти в эти состояния. Источником этой энергии может быть тепловая энергия или поглощенный свет (фотон с энергией $h\nu$, где ν — частота световых колебаний, а h — постоянная Планка $6,61 \cdot 10^{-27}$ erg sec). Чем больше разность энергий возбужденных и нормальных уровней, тем меньше число электро-

нов получает при данной температуре возможность перейти в новые квантовые состояния.

При комнатной температуре средняя энергия теплового движения равна 0,03 eV. Если на меньшая энергия, необходимая для перехода в новые состояния, составляет, например, 1 eV, лишь ничтожная часть электронов может получить такую энергию. При 2 eV их еще меньше. Можно утверждать, что во всех диэлектриках в которых разность энергии между нормальными и возбужденными состояниями больше 2 eV, все электроны остаются в нормальных состояниях. Следовательно, все такие диэлектрики не обладают электронной проводимостью. И поглощение света достаточной частоты (2 eV соответствуют желтому свету $\lambda \approx 600 \text{ m}\mu$) может все же перевести нормальные электроны на свободные уровни, где они будут участвовать в прохождении электрического тока. Это явление называется внутренним фотоэффектом, а созданный под влиянием света ток — фотоэлектрическим током. Определив наименьшую частоту света фототока, мы можем узнать энергию, необходимую для перехода из нормальных уровней в возбужденные.

Помимо теплового движения и света, электронная проводимость диэлектрика может быть вызвана и химическими примесями. В кристаллической решетке, состоящей из одинаковых ионов или атомов, часто наблюдаются нарушения правильной структуры, иногда отсутствуют отдельные ионы; иногда ионы решетки оказываются замещенными ионами в кристаллах, добавочными атомами, включенными в нормальную решетку.

Во всех этих случаях, кроме нормальных квантовых уровней кристалла, появляются добавочные уровни примесей с энергией, отличной от энергии электронов решетки.

Часто энергия электронов примеси, занимает промежуточное положение между энергией и малых и возбужденных уровней, оказывающиеся ближе к свободным состояниям, чем энергии нормальных электронов. Если тепловое движение не дает нормальным электронам достаточной энергии для перехода в свободные состояния, для примесей теплового движения может хватить достаточно, чтобы перевести часть электронов на свободные уровни и вызвать проводимость кристалла.

Примеси могут повлиять на электронное равновесие и в другом направлении: часть нормальных электронов кристалла может перейти на уровни энергии, создаваемые примесями, освободив соответственное число нормальных состояний. Обстоятельство также сообщает диэлектрику способность проводить электрический ток. Рассмотрим подробнее, как совершается в этом случае движение электронов.

Когда электрон, находившийся прежде в нормальном состоянии, переходит в одно из суперпозиций, внесенных примесями, и закрепляется, то не только появляются свободные состояния с определенной энергией и скоростью, но и в то же время в кристалле с уходом отрицательного заряда. Этот заряд может потом привлечь один из соседних э

зов, на месте которого окажется тогда избыток положительного заряда. Такие переходы совершаются под влиянием теплового движения в самых разнообразных направлениях. Участок кристалла, где имеется недочет электрона или, что то же, избыток положительного заряда, перемещается самым хаотическим образом, подобно электрону, участвующему в тепловом движении. Мы получаем впечатление, как будто самый положительный заряд движется в кристалле, тогда как на самом деле движутся электроны, замещающие свободные места.

Когда в диэлектрике создано электрическое поле, то замещение свободного места происходит преимущественно при помощи тех электронов, которые направляются к положительному заряду электрическим полем, т. е. в направлении от отрицательного полюса к положительному. Свободное место перемещается при этом на место ушедшего электрона, т. е. от положительного полюса к отрицательному, по направлению, в котором двигался бы положительный заряд, если бы он мог перемещаться. Таким образом свободное место, оставленное электроном, перешедшим на томы примеси или в свободные возбужденные состояния, мы можем уподобить свободному положительному заряду.

Движение электронов в диэлектрике может иметь двоякий характер: 1) те электроны, которые перешли под влиянием тепла или света в свободные возбужденные состояния, получают возможность перемещаться внутри диэлектрика, неся ток и тепло; 2) оставшиеся за удалением электронов свободные места среди нормальных вакуумных состояний замещаются соседними электронами так, как будто движется свободное место со своим положительным зарядом. Часто тот второй механизм тока называют током замещения. Мы будем его называть позитронным током, хотя свободные места имеют лишь частичное сходство с позитронами, в отличие от электронной проводимости первого рода.

Разумеется, в том же диэлектрике может одновременно существовать проводимость первого и второго рода в любых пропорциях.

Как же узнать, с каким механизмом проводимости мы имеем дело в каждом данном случае? Простейший прием — определение знака термоэлектродвижущей силы. Если мы нагреваем конец кристалла, обладающего электронной проводимостью, то здесь создается большее число подвижных электронов, получивших большую кинетическую энергию. Электроны будут уходить из того конца в большем количестве, чем приходят туда более медленные электроны из холодного конца, где их меньше. Нагретый конец заряжается положительно, холодный — отрицательно, пока электрическое поле в диэлектрике не скомпенсирует этого избыточного ухода электронов, погоняя обратно электроны из отрицательного (холодного) конца в более теплый. Таким образом в диэлектрике с электронной проводимостью горячий конец оказывается длительно заряженным положительно по отношению к холодному. При позитронной проводимости, наоборот, положительные свободные места уходят из нагретого конца быстрее, чем они приходят из холо-

дого. Замещающие их электроны заряжают нагретый конец отрицательно.

Другой прием определения механизма проводимости — наблюдение тока в магнитном поле (эффект Холла). Электрический ток отклоняется в магнитном поле в определенную сторону перпендикулярно как к направлению тока, так и к направлению магнитного поля. В эту сторону отклоняются заряды, переносящие ток. Если это электроны, то эта сторона диэлектрика заряжается отрицательно. Если же перемещаются свободные положительные места, то та сторона, которую отклонился ток, заряжается положительно.

Химические примеси, введенные в диэлектрик, могут вызывать проводимость как первого, так и второго рода в зависимости от того, являются ли они поставщиками электронов свободных уровней, или же вносят в кристалл уровни, на которых могут закрепиться электроны нормальных уровней.

Это различие двух родов тока оказалось весьма важным не только для исследования проводимости, но и для технических применений электронных проводников.

С изложенной точки зрения мы легко можем понять основные свойства этих проводников:

1. Чистые диэлектрики, в которых разность между энергией нормальных и возбужденных состояний превышает 1 eV, обладают очень малой проводимостью. Но стоит ввести в них некоторое количество примеси, как их проводимость возрастает в тысячи и миллионы раз.

2. Примеси, легко отдающие свои электроны, например, атомы металла, вызывают электронную проводимость, примеси же, легко присоединяющие электроны (кислород, сера, хлор), вызывают позитронную проводимость.

3. С повышением температуры электропроводность резко возрастает и становится неизмеримо малой вблизи температуры абсолютного нуля.

4. Свет, начиная с некоторой частоты, поглощаясь в диэлектрике, создает фотопроводимость.

5. Мы можем также понять, что диэлектрики, прозрачные для всех видимых лучей, как, например, алмаз, каменная соль, кварц, оказываются изоляторами. В самом деле, наибольшая частота видимого фиолетового света соответствует фотонам в 3 eV.

Если этот свет еще не поглощается, это значит, что разность между нормальными и возбужденными уровнями энергии превышает 3 eV, а при этих условиях при комнатной температуре только те электроны могли бы перейти на свободные уровни, энергия которых в 100 раз больше средней (0,03 eV). Таких электронов неизмеримо мало.

6. Введением примесей можно повысить электропроводность этих кристаллов. Но одновременно появляется и окраска, так как свет меньшей частоты может теперь поглощаться, переводя электроны примесей на свободные уровни или, наоборот, переводя нормальные электроны кристалла на уровни энергии, принадлежащие примесям.

7. Материалы непрозрачные для всех видимых лучей вплоть до красных (фотонов с энергией

1,5 eV), наоборот, часто обладают значительной проводимостью в особенности, если в них имеются примеси. Возможно, впрочем, поглощение света и без фотоэффекта.

Таким образом наряду с металлами и изоляторами мы изучаем сейчас громадное разнообразие электронных проводников промежуточного типа, так называемых полупроводников.

Интерес к ним возрос не только потому, что, воздействуя на них светом, теплом, сильными электрическими полями, или вводя примеси, мы можем в самых широких пределах изменить их электрические свойства и изучать поведение электрических зарядов в твердом теле. За последние 10 лет полупроводники получают все более растущие технические применения благодаря двум присущим им свойствам: выпрямлению и появлению электродвигущих сил при освещении. Эти свойства используются в выпрямителях переменного тока и твердых фотоэлементах.

Выпрямитель из закиси меди состоит из медной пластины, на которой окислением при температуре около 1000°C создается хорошо проводящий слой закиси меди. Между медью и закисью появляется при этом слой плохо проводящей закиси толщиной в миллионы или стотысячные доли сантиметра. Различие в проводимости обоих слоев закиси вызвано тем, что в проводящем имеется большой избыток кислорода (до 1%), который снижает его удельное сопротивление до $100 \Omega/\text{см}$, тогда как тонкий прилегающий к меди слой чистой закиси обладает удельным сопротивлением до $10^{10} \Omega/\text{см}$.

Сопротивление такой системы резко меняется в зависимости от направления тока. При одинаковой приложенной к выпрямителю разности потенциалов в 1,2 или 3 V мы наблюдаем токи в несколько ампер, когда медь служит отрицательным электродом, т. е. когда электроны идут из меди сквозь тонкий слой чистой закиси в насыщенную кислородом и хорошо проводящую закись меди. В обратном направлении при тех же напряжениях в 1—3 V токи составляют лишь немногие миллиамперы. Первое направление тока называется пропускным, второе запорным, а тонкий направляющий слой получил название запорного слоя. Отношение пропускного тока к запорному при одинаковых напряжениях носит название коэффициента выпрямления. В хороших технических выпрямителях оно достигает 10 000.

Предложено было несколько объяснений работы выпрямителя. Все они исходили из того, что электроны легче могут проходить сквозь запорный слой, когда они идут из металла, где их много, чем из закиси меди, где их мало. Прохождение электронов мы с Я. И. Френкелем приписывали тому, что тонкий запорный слой становится прозрачным в сильных электрических полях, создаваемых уже напряжением в 1 V. В самом деле толщина этого слоя всего несколько миллионных см, следовательно, поле достигает нескольких десятков или сотен тысяч V/cm. Ван Геель приписывает пропускной ток вырыванию электронов из металла этим сильным полям.

Однако все эти представления оказались неверными при ближайшем изучении других выпрямителей. В лаборатории Ленинградского физико-

технического института созданы были искусственные выпрямители, состоящие из полупроводника, нанесенного на него испарением в пустоте тонкого непроводящего слоя и металлического электрода. Позже такие же опыты были развиты в Германии. Оказалось, что при толщине запорного слоя около одной стотысячной см коэффициент выпрямления достигает наибольшего значения, и что запорный слой может состоять из любого непроводящего материала — кварца, шеллака, тонкой слюды. Самым неожиданным образом выяснилось, что знак выпрямления меняется в зависимости от применяемого полупроводника. В закиси меди, селене, сернистой меди пропускной ток течет, когда металл служит катодом. В окиси цинка, окиси алюминия, наоборот, пропускной ток наблюдается, когда металл служит положительным полюсом. Первые материалы являются полупроводниками с позитронной проводимостью, а вторые — обладают электронной проводимостью.

Таким образом знак выпрямления зависит не от металла и не от свойств запорного слоя, а от механизма проводимости полупроводника. На границе с металлом всегда имеется достаточное число как электронов, так и свободных положительных мест при любом направлении тока. Наоборот, на границе между полупроводником и запорным слоем условия перехода зарядов резко зависят от направления тока.

Если ток в полупроводнике переносится электронами, то сильный ток может поддерживаться только в том случае, когда полупроводник служит катодом, и электроны из него поступают через запорный слой в металл. При обратном направлении тока электроны, уходя от пограничного слоя, создают здесь плохо проводящую прослойку, запирающую ток.

Когда мы имеем полупроводник, в котором перемещаются свободные положительные ми (а такими, как оказалось, и являются материалы технических выпрямителей, — закись меди, селен, сернистая медь), для пропускного тока полупроводник должен быть анодом. Тогда он доставляет к границе запорного слоя положительные заряды переносящие ток в отрицательно заряженный талл.

Существуют полупроводники, в которых можем по произволу создавать электронную позитронную проводимость, вводя в них те другие примеси. В этих случаях и знак выпрямления меняется с изменением механизма проводимости. В тесной связи с твердыми выпрямителями стоят и твердые фотоэлементы. Здесь также обходимым условием является присутствие запорного слоя. Но, кроме того, необходимо, чтобы материал фотоэлемента обладал внутренним фотоэффектом.

По отношению к знаку фотоэлемента, как случае выпрямления, сначала существовали правильные представления. Казалось, что выные светом электроны, проникая сквозь запорный слой, заряжают металл отрицательным. Этот знак и наблюдался в первых твердых фотоэлементах из закиси меди и в которых, как мы уже знаем, наблюдается поглощение. Оказалось, однако, что в новых

ментах из сернистого таллия, созданных в ЮТИ, знак фототока обратный, — металл заряжается положительно. Тот же знак наблюдался в фотоэлементах из сернистого серебра, существенных в Киеве в Физическом институте Украинской академии наук. В обоих случаях мы имеем дело с электронным механизмом проводимости. Впрочем, сернистый таллий, можно сделать и проводником с положительными зарядами, насытив его избытком серы, — тогда металл заряжается при освещении отрицательно.

Разница между двумя типами фотоэлементов из сернистого таллия не ограничивается, однако, знаком фотоэффекта. В то время когда при обычном знаке фотоэффекта чувствительность фотоэлемента к свету имеет такие же значения, как и в ранее известных элементах из золота и селена, а именно несколько сот микроампер на один люмен падающего света, — серноталливые фотоэлементы с положительным знаком фотоэффекта дают до 8000 микроампер на люмен и оказываются чувствительными к невидимым инфракрасным лучам.

Каким же образом свет, вырывающий отрицательные электроны, может заряжать металл положительными зарядами? Это легко понять, если помнить, что, вырывая электроны из полосы нормальных уровней, свет освобождает там свободные места, создает положительно заряженные подвижные участки, на которые и переходят электроны из металла. Отдавая же свои электроны полупроводнику, металл заряжается положительно.

Если бы не существовало запорного слоя, фотоэлектрический ток не мог бы создать заметной разности потенциалов между металлом и полупроводником. Включение между ними такого тонкого слоя, который, пропуская электроны, обладает в же время достаточно большим сопротивлением, обеспечивает разность потенциалов, равную произведению силы фототока на сопротивление запорного слоя.

Таким образом твердый фотоэлемент с запорным слоем создает не только ток, но и электродвижущую силу, достигающую 0,3 В. Следовательно, такой фотоэлемент является источником электрической энергии, получаемой за счет энергии поглощенного света. Каков же к. п. д. фотоэлемента? В фотоэлементах из золота и селена он составляет для солнечного света несколько тысяч, и до одной десятой процента. В фотоэлементах из сернистого таллия к. п. д. приближается к 1%. При ярком освещении фототоки здесь достигают одной-двух десятых ампера. Даже к. п. д. в 1% не дает еще оснований для практического использования солнечной энергии. На 1 м² поверхности солнце дает до 1 кВт мощности, следовательно, фотоэлемент с площадью в 1 м² мог бы создавать в солнечные дни мощностью в 110 Вт. Этот выход энергии не может оправдать громадной стоимости такого фотоэлемента, соответствующего 1000 обычных элементов.

Но если на данном этапе фотоэлементы не могут быть использованы для превращения солнечной энергии в электрическую, то нельзя отказать такой возможности в будущем. Дальней-

шее развитие фотоэлементов может довести к. п. д. их до нескольких процентов. С другой стороны, стоимость их изготовления и устойчивость по отношению к атмосферным влияниям могут быть настолько улучшены, что фотоэлемент с запорным слоем может оказаться выгодным. Не надо забывать, что количество солнечной энергии чрезвычайно велико: 1 га получает 10 000 кВт мощности, а 5% от них составляют 500 кВт, — мощность, достаточную для среднего завода. Несомненно одно, что достижение этой цели потребует еще преодоления громадных трудностей.

Энергетическое использование солнечных лучей — дело будущего. Но и сейчас фотоэлементы широко применяются в технике: звуковое кино осуществляется при помощи фотоэлементов. Возможно, что фотоэлементы с запорным слоем благодаря своей простоте, отсутствию паразитных токов и шумов, отсутствию высоких напряжений получат преимущество перед применяемыми сейчас вакуумными фотоэлементами со вторичным усилением. Далее, фотоэлементы с успехом применяются для всевозможных случаев сигнализации, для автоматического счета, сортировки, контроля производства. Возможно что они найдут применение также в телевидении и в самых разнообразных измерительных приборах. Первая система передачи изображений А. Корна была основана на внутреннем фотоэффекте селена.

Во многих кристаллах из полупроводников освещение создает фотоэлектродвижущую силу, достигающую нескольких сотых вольта и без запорного слоя, роль которого играет сопротивление самого кристалла. И. К. Кикоин и М. М. Носков обнаружили, что, помещая такие вещества в сильное магнитное поле, можно наблюдать э. д. с., достигающие 20 В, правда при большом сопротивлении образца и при слабом фототоке. Практического применения эти явления пока не получили.

Мало еще использованы большие термоэлектродвижущие силы, возникающие между двумя участками полупроводника с разными температурами. В то время как в металлах 1 г разности температур создает э. д. с. порядка стотысячных вольта, в полупроводниках мы получаем до одной тысячной вольта. Знак термоэлектродвижущей силы, как мы уже видели, зависит от механизма проводимости. Соединив два полупроводника с противоположными механизмами тока, мы получаем сумму э. д. с., когда нагреваем место их соединения.

Термоэлемент является прибором, превращающим тепловую энергию в электрическую. Благодаря неизбежным процессам теплопроводности по тем проводам, которые несут ток, к. п. д. термоэлементов гораздо меньше, чем в тепловых машинах. Термоэлементы из металлов дают не более 1—2% электроэнергии. Среди полупроводников можно подобрать такие, которые дают до 4%, и эту величину, повидимому, можно будет еще увеличить. Даже при к. п. д. в 10% термоэлементы не могут конкурировать с машинами, однако благодаря крайней простоте, отсутствию движущихся частей, компактности для определен-

ных целей термоэлементы могут получать значение не только как измерители температуры и лу-чистой энергии, но и как источники тока.

Техническое значение полупроводников — еще в будущем. Это один из наиболее молодых и бы-стро растущих участков технической изобретательности. Наша промышленность уже давно производит выпрямители для целей автоблокировки. Сейчас по разработанному ЛФТИ методу ставится производство сильноточных выпрямите-лей на сотни и тысячи ампер для электролиза, зарядки аккумуляторов, производста алюминия, магния и других целей, не требующих высоких напряжений. Ставится производство селеновых выпрямителей, имеющих определенные преиму-щества при низких температурах и в измерительной аппаратуре. Наконец, в ЛФТИ разработаны новые сернодиодные выпрямители с габаритами и стоимостью в десятки раз меньшими других типов.

Селеновые фотоэлементы производятся в Харь-кове и Ленинграде в количестве нескольких де-сятков тысяч штук в год. Серноталлиевые фото-элементы проходят еще стадию испытаний, после чего можно будет приступить к постановке произ-водства и к широкому внедрению их в практику.

Для физической теории полупроводники имеют исключительное значение. Здесь открывается воз-можность изучить электрические и оптические свойства твердого тела, квантовые состояния электронов, их связь с атомами вещества. И дей-ствительно, современные оптика и электроника твердого тела строятся на изучении полупроводников. Растущий технический опыт обогащает теорию, а теория в свою очередь открывает но-вые пути улучшения и применения полупроводников. Примеры этому мы видели на фотоэле-ментах и выпрямителях, где технический опыт открыл явление запорного слоя и различие знака выпрямления. А квантовая теория, объяснив связь знака с механизмом выпрямления, указала путь рационального усовершенствования фотоэлемента и выпрямителя.

В области полупроводников наглядно прояв-ляется взаимодействие теории и практики. Полу-проводники представляют поэтому благодаря поле изучения для технической физики для изо-бретательства и для автоматизации производ-ственных процессов. Перед советской физикой ряд лабораторий которой занят полупроводни-ками, стоит задача быть инициаторами прогресса в этой области.

Мощные медно-закисные выпрямители

А. З. ЛЕВИНЗОН и Ю. А. ДУНАЕВ

Ленинградский физико-технический институт Академии Наук СССР

В НАЧАЛЕ 1938 г. в Ленинградском физико-тех-ническом институте была в основном закончена разработка технологического процесса изго-тования больших медно-закисных пластин¹. Та-ким образом было преодолено одно из главных препятствий на пути к организации производства мощных медно-закисных выпрямителей, нашедших за последние годы довольно широкое примене-ние в мировой технике.

Предварительно приведем некоторые сведения о состоянии этой отрасли за границей.

Мощные медно-закисные выпрямители за гра-ницией. Спрос на мощные медно-закисные выпря-мители в основном удовлетворяется фирмами: английская Westinghouse и AEG. При ознакомле-нии с заграничными выпрямителями мы в основ-ном пользовались материалами Westinghouse. В каталогах этой фирмы фигурирует около 60 типов мощных медно-закисных выпрямителей.

Все выпрямители мощностью выше 1 kW снаб-жаются вентилятором, помещенным в верхней ча-сти каркаса. Некоторые дополнительные расходы, связанные с его установкой и эксплоатацией, оку-паются значительным уменьшением габаритов выпрямителя, режим снижением расхода меди на

выведенный тока и соответственным у-личением к. п. д.

Выпрямитель состоит из самого выпрямите-ля и понижающего трансформатора, трансформиро-вущего ток сети (110—220 V) в ток низкого нап-ряжения, подаваемый на выпрямитель. В выпря-мителях небольшой сравнительно мощности (1,5 kW) трансформатор встраивается в шкаф выпрямителя. При больших мощностях — 3—6 (6V, 500 A или 6V, 1000 A) шкаф в этих у-виях получился бы чрезмерно громоздким, поэтому трансформатор устанавливается отде-рядом с выпрямителем, и соединяется с ним ружными шинами.

Обычно выпрямители рассчитываются на полупериодное выпрямление. При мощности 1 kW наиболее часто применяется однофа-сема Гретца. При больших мощностях ча-сто используется трехфазная схема.

Пластины выпрямителя, собранные по группам параллельно, последовательно или параллельно последовательно (в зависимости от того, напряжение и токи желательно получить), устанавливаются в специальном каркасе. Фирма из-ляет несколько таких каркасов стандартных меров. Наибольший размер такого каркаса — 560 × 560 × 2460 mm для выпрямителя на 1 при 6 V. В случае необходимости под большие мощности используют несколько

¹ ЖТФ, т. VIII, вып. 13—14, стр. 1212—1218. А. З. Левин-зон и Ю. А. Дунаев, Медно-закисные пластины для мощных медно-закисных выпрямителей.

выпрямителей, соединяя их параллельно с помощью наружных соединительных шин.

Регулирование напряжения осуществляется переключением секций первичной обмотки трансформатора. Такое переключение может осуществляться либо под нагрузкой с помощью специального курбельного переключателя, либо, в упрощенных конструкциях, простым переключением клемм в распределительном ящике при снятой нагрузке.

Если по ходу работы требуется поддерживать строго определенное напряжение, применяют автоматические регуляторы различных конструкций. Вообще в практике довольно редко приходится сталкиваться с необходимостью очень тонкой регулировки. Это бывает необходимо, например, при работе с драгоценными металлами, когда изменение напряжения, подаваемого на ванну, может повлечь за собой потери металла. Кроме описанных способов, иногда в выпрямителях небольшой мощности для регулирования напряжения применяют реостаты.

Обычно при полной нагрузке к. п. д. медно-закисного выпрямителя (отношение мощности выпрямленного тока к мощности переменного) равен приблизительно 70—75%. Как видно из рис. 1, в пределах от 30 до 100% нагрузки к. п. д. почти не меняется; при нагрузке менее 30% к. п. д. резко падает.

Опытный выпрямитель ЛФТИ. Как уже указывалось, основным препятствием на пути освоения мощных медно-закисных выпрямителей было неумение изготавливать медно-закисные пластины большого размера. До недавнего времени у нас изготавливались только небольшие односторонние круглые пластинки диаметром 41 мм, с прижатой к поверхности закиси свинцовой шайбой в качестве верхнего электрода. Мощный выпрямитель, собранный из большого числа таких пластин, имел бы большие габариты и вес. Разработанный нами способ получения больших медно-закисных пластин, двухсторонних с шоопированым верхним электродом, позволил значительно уменьшить вес и габариты выпрямителя. Если при сборке из односторонних пластинок диаметром 41 мм расход меди равен 20—25 г/Вт выпрямленного тока, то при применении больших пластин этот расход составляет 5—6 г/Вт. Следует отметить, что у нас используется медь толщиной 1,3 мм. При постановке широкого производства следует ориентироваться на принятую за границей толщину в 1 мм, тогда удельный расход еще снизится.

Технологический процесс изготовления медно-закисных пластин был нами передан одному из енинградских заводов. Завод предоставил в архив распоряжение несколько десятков пластин² в первых опытных партиях, изготовленных в процессе освоения.

Необходимо было построить опытный образец выпрямителя, на котором можно было бы проработать вопросы блокировки, коммутации, рас-

Рис. 1. Коеффициент полезного действия (%) выпрямителей на 6 или 12 В (кривая 1) и на 4 или 8 В (2) в зависимости от нагрузки в процентах от номинальной; 3 — напряжение на выходе

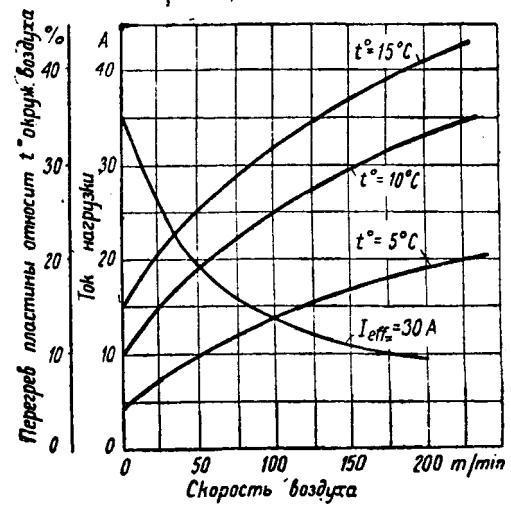
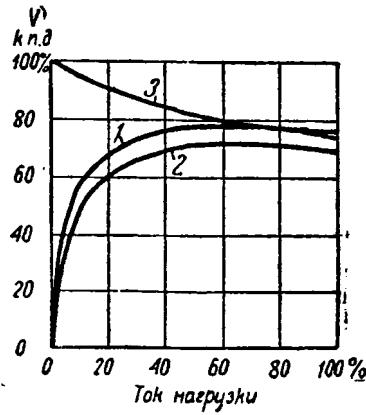


Рис. 2. Ток нагрузки выпрямителя в зависимости от скорости охлаждающего воздуха при заданном перегреве пластины (5, 10 и 15°) относительно окружающего воздуха. Кривая $I_{eff} = 30$ А — перегрев пластины при постоянной нагрузке выпрямителя (кривые рисунка относятся к пластинам 80 × 200 шт, изготовленным в лаборатории)

чета трансформатора и, наконец, режима работы больших медно-закисных пластин в эксплуатационных условиях. Для выяснения этих вопросов, учитывая ограниченные технические возможности лаборатории, было решено построить выпрямитель на 300 А, 5—6 В. К началу ноября 1938 г. выпрямитель был собран.

Для выяснения оптимальных условий охлаждения пластин был поставлен ряд опытов. Результаты исследования представлены на рис. 2.

Кривая $I_{eff} = 30$ А (рис. 2) весьма убедительно показывает, что увеличение скорости воздушного потока охлаждающего пластины выше 160 м/мин дает весьма незначительный эффект.

Пропускные токи пластин после работы их некоторое время в установке, в результате роста сопротивления, несколько снижаются. Для получения первоначального тока на выходе выпрямителя приходится повышать напряжение во вторичной обмотке, что предусматривается при проектировании питающего трансформатора. Явление увеличения сопротивления пластин со временем известно под названием "старение" пластин. Это старение тем значительнее, чем больше пластина нагревается при работе. Особенно резко старение наявствует при сборке выпрямителя из свежеизготовленных пластин.

² Первые пластины, изготовленные заводом, сильно отличались друг от друга по прямым и обратным токам и поэтому значительно уступали пластинам, изготовленным в лаборатории.

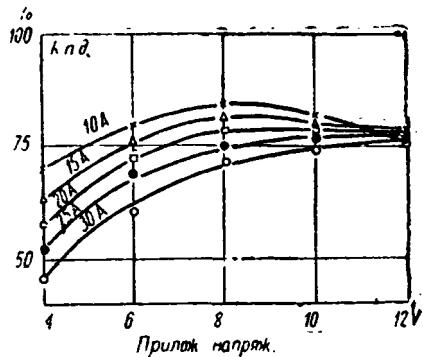


Рис. 3

Для искусственного старения пластин был разработан способ, который заключается в том, что пластины после изготовления подвергаются нагреву до 55—60° в течение 24 h. Предварительно обработанные таким способом пластины при последующей работе оказываются значительно стабильнее. Мы не имеем еще данных о длительной работе наших пластин. Но малые макеты, собранные из пластин, подвергнутых искусственному старению, и проработавшие несколько тысяч часов, не показали сколько-нибудь значительных признаков старения. По данным фирмы Westinghouse, некоторое старение наблюдается в течение первых двух лет эксплуатации. В дальнейшем пластины стабилизируются.

Температура 55—60° является той температурой, выше которой перегревать пластины нельзя, в противном случае в пластинах начинаются необратимые процессы, вследствие которых сопротивление их в пропускном направлении резко возрастает и электрические параметры выпрямителя понижаются. Медно-закисные выпрямители предназначаются для работы в закрытых помещениях. Предполагается, что температура в помещении не будет превышать 40—45°. Следовательно, допустимый перегрев пластины над окружающим воздухом равен 10—15°.

Как уже указывалось, рабочие параметры мощного выпрямителя были запроектированы следующие: выпрямитель однофазный — схема Гретца, $I_{cp} = 300$ A, $U_{cp} = 5$ V. Предварительные исследования, проведенные на четырех пластинах, собранных по схеме Гретца, показали, что нормальная нагрузка на 1 пластину $I_{cp} = 25$ A, при этом перегрев лежит в пределах 10—15° (скорость воздушного потока 160 m/min). Для выпрямленного тока $I_{cp} = 300$ A при схеме Гретца потребуется $\frac{300}{25} \cdot 4 = 48$ пластин.

Оптимальная величина эффективного значения переменного напряжения $U_{\text{выпрям.}}$

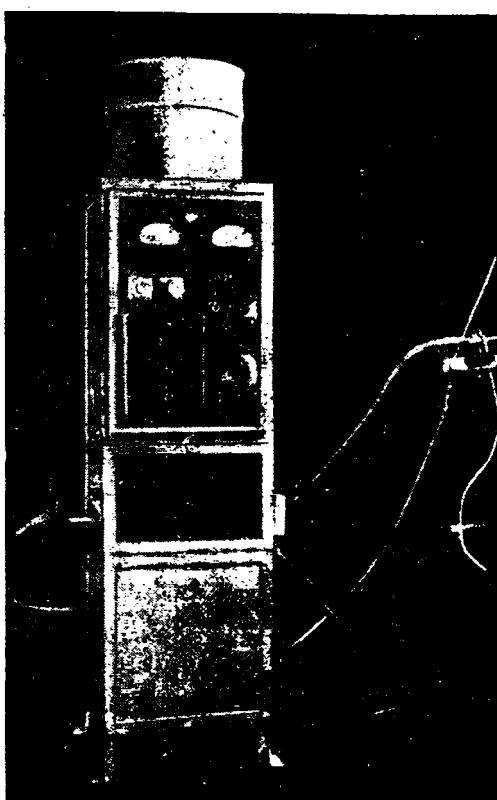
также, т. е. та величина напряжения, при которой получается максимальный к. п. д., была выбрана по рис. 3. На графике этого рисунка даны построенные на основе эксперимента кривые к. п. д. в зависимости от приложенного напряжения при различных нагрузках выпрямителя. Как видно из рисунка, максимальный к. п. д. соответствует эффективному значению $U_{\text{выпрям.}} = 8$ V. Учитывая падение напряжения в трансформаторе при полной нагрузке (0,5 V) и взяв некоторый запас для компенсации старения (0,3 V), мы выбрали $U_{\text{выпрям.}} = 8,8$ V.

Пробивное напряжение медно-закисной пластины в запорном направлении, при испытании на постоянном токе, равно 50—75 V, что эквивалентно эффективному значению приложенного переменного напряжения 35—50 V. Эти цифры подтверждаются измерениями электрической прочности пластин на переменном токе. 8—9 V эффективных, подаваемых на выпрямитель, соответствуют 11,5—13 V амплитудных. При включении выпрямителя без нагрузки (такая возможность не исключена) вероятны броски напряжения, достигающие $\frac{3}{2}$ напряжения при нормальной работе — 17—19 V. Принимая за расчетную электрическую прочность большой пластины 35 V действующих, получаем достаточный запас электрической прочности. Ток вторичной обмотки трансформатора был выбран равным 340 A.

На рис. 4 показан общий вид выпрямителя. Выпрямитель собран в каркасе из углового железа. С боков каркас закрыт железными щитами, фиксированными винтами. На одном из щитов, справа на рисунке, расположен щиток, закрыты предохранительным кожухом, с клеммами для присоединения к сети переменного тока. На другом щите (слева) укреплена текстолитовая планка, сквозь которую проходят шины постоянного тока. Задняя сторона выпрямителя закрыта глухими щитами сверху и снизу. В середине оставлено прямоугольное отверстие снабженное сеткой. Такое окно имеется и в передней стенке шкафа. Через эти отверстия, а также через крытое сеткой отверстие в дне шкафа, засасывается воздух, охлаждающий пластину выпрямителя.

На передней стенке шкафа находится щит, на котором смонтированы приборы и тяговые и управление: вольтметр и амперметр постоянного тока, сигнальная лампа, контактор, курковый ключатель, предохранители, кнопки управления. В нижней цилиндрической части шкафа расположены вентиляторы.

На рис. 5 дана элек-



ская схема выпрямителя. Включение выпрямителя осуществляется нажатием кнопки *вкл.* При этом включается двигатель вентилятора. Кнопка держится в нажатом состоянии до тех пор, пока вентилятор не приобретает нормальной скорости. При этом центробежный регулятор, насаженный на валик двигателя вентилятора, замкнет контакт 5 цепи, питающей контактор *Б*. Контактор срабатывает и включает выпрямитель. Одновременно включается сигнальная лампа *А*. Как только загорится лампа, кнопка *вкл* может быть отпущена. Контакты 3 и 4 разомкнутся, а контакты 1 и 2 останутся замкнутыми. Выпрямитель продолжает работать. Время, в течение которого при пуске выпрямителя кнопку *вкл* следует держать в нажатом состоянии, — равно 3 сек.

Для выключения выпрямителя следует нажать кнопку *откл.* Цепь, питающая контактор *Б* через вспомогательный выпрямитель *В*, разомкнется, и контактор выключит выпрямитель. То же самое произойдет, если во время работы выпрямителя двигатель вентилятора выйдет из строя или значительно снизит число оборотов. В этом случае цепь, питающая контактор, будет разомкнута контактом 5. Благодаря такой блокировке исключается возможность пуска выпрямителя без охлаждения, что неизбежно повело бы к аварии.

Для защиты от перегрузок и токов *к. з* в первичной цепи трансформатора установлены плавкие предохранители. Первичная обмотка трансформатора секционирована. Концы секций выведены к контактам курбельного переключателя. При помощи курбельного переключателя можно регулировать напряжение выпрямленного тока в пределах 1 V.

На рис. 6 видно одно плечо с 12 параллельно включенными пластинами. Удельный расход меди выпрямителя (общий вес пластин 12 kg) составляет 8 g/W выпрямленного тока. При изготавлении в лаборатории первых макетов из больших пластин, расход меди был 5 g/W. Несколько повышенный расход меди в данном случае объясняется тем, что, как мы уже указывали, пластины для выпрямителя были взяты из первых опытных заводских партий.

При сборке выпрямителя следует применять пластины, электрические параметры которых имеют разброс не более чем³ на 20—25%. В противном случае, лучшие пластины, имеющие меньшее сопротивление, окажутся в наиболее тяжелых условиях. Чрезмерно большой ток, который потечет через них в пропускном направлении, вызо-

³ Под электрическими параметрами пластины мы подразумеваем прямые и обратные токи, идущие через пластину. Иначе говоря, пластины нужно подбирать так, чтобы и по прямым и по обратным токам они не отличались бы резко друг от друга.

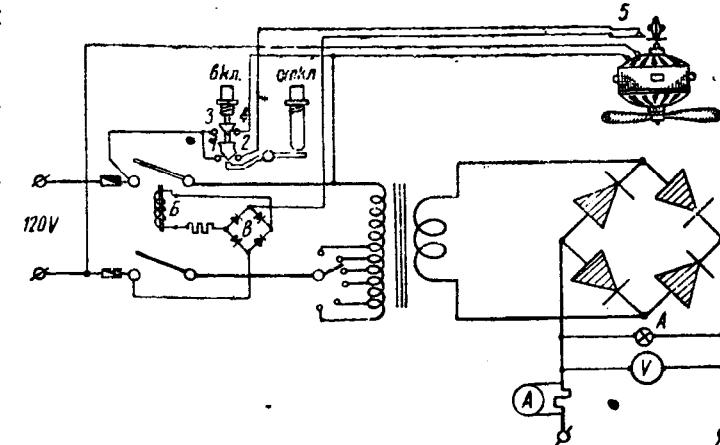


Рис. 5

вет повышенный нагрев, который может привести к тепловому пробою пластины. В случае небольшого разброса (20—25%) лучшие пластины также будут несколько перегреваться, в связи с чем их «старение» будет происходить более интенсивно, и после нескольких сотен часов работы электрические параметры пластин сравняются.

На рис. 7 даны: характеристика холостого хода $I_0 = f(U_\infty)$, внешняя характеристика выпрямителя $U_{cp} = f(I_{cp})$ и кривая $\cos \varphi$.

Кривая 2 рис. 8 дает электрический к. п. д. всей установки в целом, т. е. с учетом питания вентилятора, контактора и потерь в трансформаторе. Сравнительно низкий к. п. д. как собственно выпрямителя, так и всего агрегата объясняется невысоким качеством пластин. Первые

макеты, которые мы собирались из пластин, изготовленных лабораторией, давали к. п. д. выпрямителя, равный 75%, а всего агрегата в целом 65%.

Все исследования нашего выпрямителя производились при нагрузке омическим сопротивлением. Но к. п. д. однофазных выпрямителей зависит не только от величины нагрузки, но также и от характера ее. Например, при емкостной нагрузке или при использовании выпрямителя для зарядки аккумуляторов его к. п. д. будет ниже примерно на 5%.

Область применения. На основании ряда статей, заметок и сообщений, появившихся в иностранной литературе за последние 7—8 лет, можно заключить, что мощные медно-закисные выпрямители нашли довольно широкое применение в различных областях электротехники. Наиболее часто они применяются: для зарядки и подзарядки аккумуляторов (телефонные станции и телеграф); для торможения двигателей переменного тока; для возбуждения

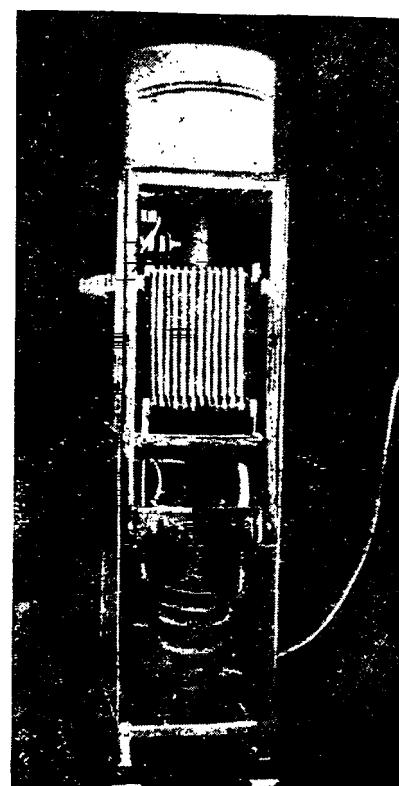


Рис. 6

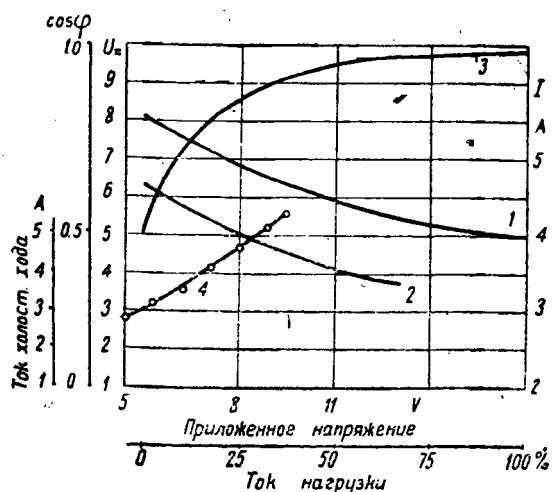


Рис. 7

1 и 2 — внешние характеристики выпрямителя. $[U_{cp} = f(I_{cp})]$ соответственно при максимальном (курбель выведен) и минимальном выпрямленном напряжении (курбель введен) в зависимости от тока нагрузки в процентах от номинального; 3 — $\cos \phi$ установки в зависимости от нагрузки; 4 — характеристика холостого хода выпрямителя $I_{eff} = f(U)$ в зависимости от приложенного напряжения

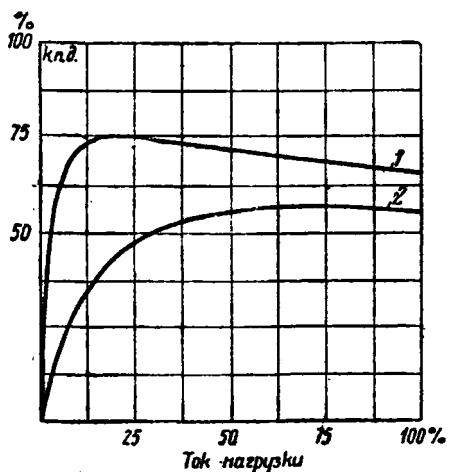


Рис. 8

1 — к. п. д. собственно выпрямителя; 2 — всей установки

электромагнитов; для питания цепей накала и анодных цепей (радио-телефония), двигателей постоянного тока — от сети переменного тока, электролитических ванн и дуги в киноустановках; как источник тока для сварки; для искрогашения; в целях использования реле постоянного тока на переменном токе и т. д.

Такому сравнительно широкому внедрению медно-закисных выпрямителей способствовал тот факт, что при использовании их на низких напряжениях они обладают рядом известных преимуществ по сравнению с другими типами выпрямителей.

В проспекте Westinghouse приводится примерный расчет установки для питания небольшого цеха электролитических покрытий, с целью доказать преимущества твердого выпрямителя перед мотор-генератором. Хотя этот расчет и имеет рекламный характер, тем не менее он представит

некоторый интерес для наших техников и хозяйственников.

Примерный расчет выпрямительной установки. Для цеха электролитических покрытий необходим постоянный ток; для никелевой ванны — 3 V, 400 A; для хромовой ванны — 6 V, 1000 A; для барабана — 12 V, 150 A; общий ток — 1550 A.

Для питания всех трех агрегатов необходимо установить мотор-генератор 12 V, 1550 A. Мощность мотор-генератора составит 18,6 kW постоянного тока. Но, учитывая возможные перегрузки, придется поставить мотор-генератор по меньшей мере на 2000 A, что (при достаточно низком к. п. д. — 50%) потребует со стороны переменного тока мощности 37,5 kW.

В случае же применения медно-закисных выпрямителей проектируем на каждую ванну отдельный выпрямитель: для никелевой ванны требуется мощность 1,2 kW; хромовой — 6 kW и барабана — 1,8 kW; всего — 9 kW; к. п. д. можно будет принять равным 75%. Мощность на стороне переменного тока — 12 kW. Разница между потребляемой мощностью генератора и выпрямителя — 25 kW.

Предельная мощность, на которую строят медно-закисные выпрямители, за границей порядка 5 kW. При больших мощностях твердые выпрямители получаются тяжелее, чем другие типы выпрямителей, особенно при высоком напряжении выпрямленного тока. Кроме того, их стоимость сильно возрастает с мощностью.

Необходимо сделать одно замечание эксплуатационного характера. В эксплуатации не следует допускать для выпрямителей резкого перехода от сравнительно высоких температур к низким во избежание конденсации на пластинах паров воды; не допускать также попадания брызг воды на пластины. Если по условиям работы нельзя исключить попадание воды на пластины, то выпрямитель изготавливается в специальном исполнении: пластины защищаются лаковым покровом, а кожух делается таким образом, чтобы не допускать попадания брызг.

Освоение технологического процесса изготовления больших медно-закисных пластин, постройка небольших опытных макетов и, наконец, постройка опытного образца мощного медно-закисного выпрямителя создают минимально необходимы предпосылки для организации опытного производства этого нового у нас вида электрической аппаратуры. Целесообразно было бы на одном наших электротехнических заводов организовать опытное мелкосерийное производство.

На первое время можно было бы ограничить выпуском выпрямителей на 100, 300 и 500 A при напряжениях — 4,5 V (никелировка), 6—7 V (электролитическая очистка, хромирование), 12—24 (для зарядки аккумуляторов). Одновременно следует изготовить несколько образцов выпрямителей на 40 A при 50 V для киноустановок. Результаты испытаний всех этих типов в заводских условиях позволят выявить наиболее интересные промышленность типы и выработать стандарт.

Современные ртутные выпрямители

В. К. КРАПИВИН

Завод „Электросила“ им. Кирова

ЗАПАДНО-ЕВРОПЕЙСКИМ металлическим ртутным выпрямителям 18 лет, советским — 11. За это время выпрямители прошли большой путь, но далеко не достигли своего технического предела, — каждый год открывает новые перспективы их развития и применения.

В отличие от электрических машин, ртутные выпрямители в начале развития не имели достаточной теоретической базы. Теория ионного газового разряда создавалась параллельно прогрессу выпрямителей. Так например, опыты Шенкеля и Шоттки, обнаруживших большие ионные токи в металлический корпус выпрямителя¹, заставили Ирвинга Лантгюира пересмотреть свои возрения на природу дуги и дать через 7 лет теорию плазмы.

Недостаточность теоретической базы, сложность статистический характер явлений создавали большие трудности при освоении каждого нового типа. Много, но не все, могло быть решено на испытательном стенде завода. Многое дорабатывалось на установках в эксплоатации. Иногда помощь эксплуатирующего персонала способствовала успеху.

Мало кому известны трудности, встретившиеся эксплоатации с новыми типами. Так например, установка AEG в Бонне на 460 V с двумя выпрямителями по 1500 A каждый, такая красивая на фотографии в журнале², имела за 2 года 107 дней неработки и потребовала 17 раз ремонтируемых заводом³. Или ртутный выпрямитель на 600 V, 1000 A, установленный на линии каго — Мильвоки, имел за год эксплоатации аварии⁴. С неменьшими трудностями столкнулась та же фирма с первыми выпрямителями 3300 V на ж.-д. линии Лакавана, где число аварийных зажиганий на отдельных выпрямителях отдельные месяцы превосходило сотню⁵.

Большие трудности пришлось преодолеть и нам при пуске в эксплоатацию выпрямителей в 1932 г. 1650 V на Северной ж. д., в 1934 г. на 3300 V Сталинской ж. д. и выпрямителя на 5000 A 1936—1937 гг. на Днепровском алюминиевом заводе. Дело осложнялось отсутствием на заводе «Электросила» испытательных стендов.

В истекший период основные усилия были направлены к достижению полной надежности выпрямителей. Иногда этого добивались некоторым запасом прочности. Успех в этом направлении значителен. Ртутный выпрямитель превращается во вполне надежный прибор. Нам известны новки BBC, работающие совершенно бесперебойно и без ревизии ряд лет.

Большие выпрямители, работающие в тяжелых условиях на Минераловодской линии при напряжении

1650 V, за весь 1938 г., все 12 аппаратов вместе, дали всего 3 обратных зажигания.

Все это свидетельствует о больших возможностях дальнейшего развития. Рассмотрим основные проблемы выпрямителя в свете современных физических воззрений, ознакомимся с вопросами конструкции, технологии и ближайшими перспективами.

Физические проблемы. Есть две основные проблемы в выпрямителях: первая — обратное зажигание, вторая — падение в дуге. Нельзя указать точно предел нагрузки или условий, при которых обратное зажигание возникает. Есть только та или иная степень вероятности этого явления. Точно также в нормальных условиях падение напряжения в дуге может быть определено, но трудно учесть совокупность условий, при которых падение возрастает чрезмерно, угрожая разрывом тока и перенапряжением.

Причиной обратных зажиганий являются или ненормальные условия газовой среды в районе анода, или неудовлетворительное состояние поверхности анода.

В момент окончания коммутации тока с одного анода на другой между потухшим анодом и катодом, в случае нерегулируемого выпрямителя, мгновенно оказывается приложенной разность потенциала:

$$\Delta U = \sqrt{2} U_2 \sin \gamma,$$

где U_2 — напряжение фазы вторичной обмотки трансформатора, γ — угол коммутации. Между тем в момент погасания пространство вокруг анода сильно ионизировано.

Значительно тяжелее работа анода в управляемом выпрямителе, работающем в зарегулированном положении. В этом случае скачок обратного напряжения больше и равен:

$$\Delta U = \sqrt{2} U_2 \sin(\alpha + \gamma),$$

где α — угол регулирования. Кроме того, в этом случае угол коммутации значительно меньше, так как коммутирующее напряжение выше. Это значит, что спадание тока идет быстрее, и в момент погасания анода газ перед ним сильнее ионизирован.

В выпрямителях на большую силу тока обратные зажигания наиболее вероятны в момент, следующий непосредственно за погасанием анода. В выпрямителях на большое напряжение и малую силу тока обратные зажигания вероятны также в момент, когда обратное напряжение достигает наибольшей величины.

Анод защищен манжетой и деионизирующим фильтром-сеткой. Фильтр служит для более быстрой деионизации пространства перед анодом, манжета для экранирования анода от ионов дуги, горящей на соседних анодах. Степень экранирования подбирается такой, чтобы повысить надежность выпрямителя по отношению к обратным зажиганиям и в то же время избежать ненор-

Wiss. Ver. a. d. S — K. B. 2, стр. 252, 1922.
AEG-Mitt. № 9, 1927.

Механич. зап. инж. Михелиса, 1929.

АИЕЕ № 1, 1928.

Эл.-технич. журнал № 8/9, 1932.

мального повышения падения напряжения в дуге и не затруднить зажигания.

Степень экранирования определяется диффузионным фактором Шоттки:

$$\frac{n}{n_0} = e^{-2,42 \frac{l}{r}}.$$

В этой формуле n — число ионов, пронифильтровавших к аноду, n_0 — число ионов перед манжетой, l и r — соответствующие длина и радиус манжеты, или высота и половина ширины щели в фильтре. В современных выпрямителях это отношение колеблется в пределах $(0,2—2) \cdot 10^{-6}$.

Обратное зажигание — явление, отличное от пробоя ртутного шара (подчиняющегося закону Пашена). Обратное зажигание возникает вследствие перехода несамостоятельного тока деионизации в тлеющий разряд и непосредственно дальше в дугу. Ток в течении 10^{-7} сек возрастает от значения тока деионизации, измеряемого миллиамперами, до величины 2—5 А, необходимой для поддержания катодного пятна. После появления устойчивого катодного пятна ток обратного зажигания беспрепятственно развивается до тысяч или десятков тысяч ампер.

Примем для упрощения анализа условий обратных зажиганий следующие элементарные явления «ионизационного нарастания». Каждый ударающийся об анод ион излучает γ электронов, каждый электрон на единице пути ионизирует α атомов. Толщину слоя плаэмы вокруг анода обозначим через d .

Вероятность обратного зажигания непосредственно от величины обратного тока не зависит — от 1 мА также далеко до 5 А, как и от 3—4 мА.

Экспоненциальное нарастание тока зависит от коэффициента ионизационного нарастания:

$$q = \gamma (e^{\alpha d} - 1).$$

Обратный ток начинает неограниченно возрастать, когда этот коэффициент приближается к единице или даже больше ее.

Толщина слоя плаэмы d , на которую приходится все обратное анодное напряжение, увеличивается вместе с деионизацией пространства и в пределе занимает всю область манжеты.

Число ионов a , образуемых одним электроном на пути в 1 см, сильно зависит от плотности ртутного пара P и от напряженности поля E .

Общий характер этой зависимости представлен на рис. 1.

Плотность ртутного пара зависит, с одной стороны, от количества испаряющейся с катода ртути, с другой, — от условий охлаждения выпрямителя.

Количество испаряющейся ртути зависит от тока нагрузки и от температуры поверхности катода, колеблющейся в очень широких пределах. Однако температура корпуса выпрямителя, поддерживаемая охлаждением на определенном уровне, демпфирует эти колебания.

Для многоамперных выпрямителей режим охлаждения или, как называют его сотрудники ГЕС, регулирование давления ртутного пара приобретает исключительно большое значение. Если к ртутному пару примешаны посторонние газы, характер ионизационного нарастания может резко измениться. Весь ход процесса осложнится влиянием метастабильных атомов и явлением перезарядки.

Сложность условий иногда приводит к парадоксам. Иногда обратные зажигания наступают после спада большой нагрузки. Замечено, что обработка корпуса и анодов небольшим количеством воздуха иногда на некоторое время понижает вероятность обратных зажиганий (так называемый «пневматоракс»). Однако этим способом пользоваться нельзя. Он приводит к быстрому старению выпрямителя, так как одновременно кислород воздуха окисляет поверхность анода.

При низких давлениях исключительно большое значение имеет определенная выше величина. Эта величина зависит от состояния поверхности анода. Шероховатость поверхности, наличие микроскопических острый, углов — все это вызывает местные перегревы, искажения поля и повышенную электронную эмиссию. Таким же образом влияет наличие отдельных кристаллов графита, плохо связанных с остальной массой анода. Кроме того, ответствующей механической обработки поверхности, весьма полезна для устранения этих дефектов обработка бомбардировкой ионами тлеющего или несамостоятельного разряда.

Наличие инородных примесей и загрязнений поверхности также влечет за собой повышенную величину γ . При формовке примеси можно удалить. Наоборот, холодная поверхность анода сорбирует все летучие фракции загрязнений корпуса (переборка в грязных условиях), все выделения свежей необработанной резины, пары из фортранумного насоса. Поверхность горячего анода окисляется при большом натекании воздуха.

Выпрямитель, собранный без соблюдения условий вакуумной гигиены, работающий при нормально большом натекании, стареет. Тогда выпрямитель потребует скоро переборки и ботки головок анода.

Для предупреждения загрязнений анода не пускается прогрев корпуса при холодных аж не допускается, за исключением первоначальной откачки, работа форвакуумного масляного насоса.

Несколько особо стоит явление возникновения обратного зажигания из-за образования верхности анода непроводящего слоя. В случае, как это схематично показано на рисунке 1, заряжается в непроводящую часть манжеты 2, ионами 3, пробивается, и искра пробоя вызывает обратное зажигание.

На эту причину впервые указал Лангмюр.

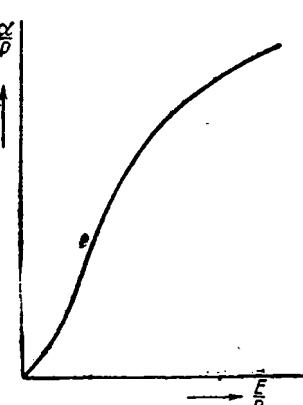


Рис. 1. Зависимость коэффициента ионизации α от давления P и напряженности поля E

на пути в 1 см, сильно зависит от плотности ртутного пара P и от напряженности поля E .

Общий характер этой зависимости представлен на рис. 1.

Плотность ртутного пара зависит, с одной стороны, от количества испаряющейся с катода ртути, с другой, — от условий охлаждения выпрямителя.

ционная пленка может образоваться из-за кисления поверхности анода или вследствие вторичных химических реакций адсорбированных примесей. Точно так же, как пробой пленки Лангmuira, подействуют отрыв частицы от анода, шинки или капли ртути, коснувшейся рабочей поверхности анода в непроводящую часть пленки.

При количественном учете всех вышеописанных процессов приходится считаться со всевозможными флуктуациями — отклонениями от среднего значения. Не остается равномерной также плотность тока на поверхности анода.

На рис. 3, взятом из неопубликованной работы инженеров завода «Электросила» Дроздова и Петухова, представлено распределение плотности тока (характеризуемое на рисунке степенью заштриховки) по поверхности анода в зависимости от нагрузки.

Наглядная картина условий, способствующих возникновению обратных зажиганий, дана на рис. 4.

Вместо равномерного распределения A поля и плотности обратного тока мы часто имеем искажение и того и другого B .

Когда обратные зажигания, частые в начале плавки выпрямителя, постепенно исчезают, показывает, что выпрямитель был технологически недоработан, недоформован. Наоборот, выпрямитель начинает давать обратные зажигания через некоторое время после начала его плавки и число их увеличивается, это указывает, что поверхность анода все больше загрязняется или окисляется. В этом случае выпрямитель надо перебирать.

Другая проблема многоамперного ртутного выпрямителя — это падение в дуге. С этой проблемой столкнулись все фирмы при попытке создать выпрямители на ток 5000—10 000 А. Но эта проблема и ограничивала развитие выпрямителей в сторону больших токов. Падение напряжения в дуге не есть только вопрос экономии (к. п. д.), — это также вопрос надежности.

В некоторых условиях падение напряжения горения анода начинает сильно возрасти в некоторых случаях вызывая разрыв тока напряжения. Это явление наблюдается при вспышках нагрузках, коротких замыканиях. При холодной поверхности ртути и холодном выпрямителе падение напряжения значительно.

О вопросу посвящена статья инж. Дроздова, инж. Петухова в настоящем номере журнала «Электричество». Как доказывается в этой статье, повышение падения напряжения в дуге водит в начале анодной манжеты и вызывает разрежением в двойном слое. В германских выпрямителях часто вместо разрыва тока происходит замыкание на стенку, как это показано на рис. 5. Встречное сопротивление в начале манжеты, оказывается на корпусе, как на аноде 1. На анод ввод 3. В местах катодных пятен получаются распыленные разводы.

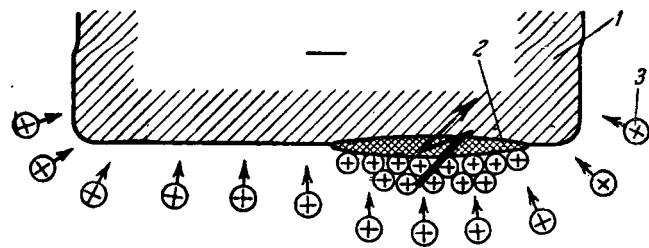


Рис. 2. Схема возникновения катодного пятна на аноде 1, частично покрытом изолирующей пленкой 2

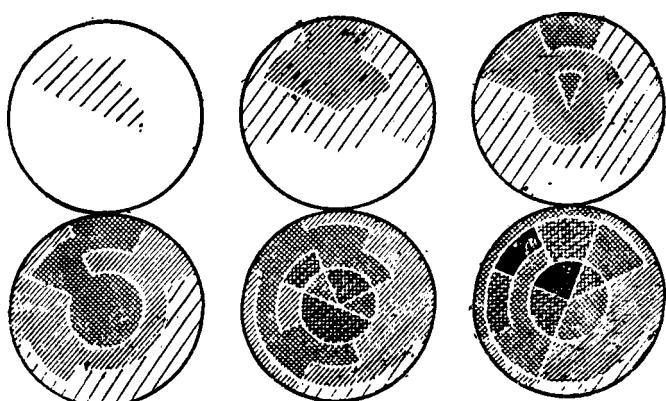


Рис. 3. Распределение плотности тока на торцевой поверхности анода при средней силе тока 50, 100, 150, 180, 250 и 300 А

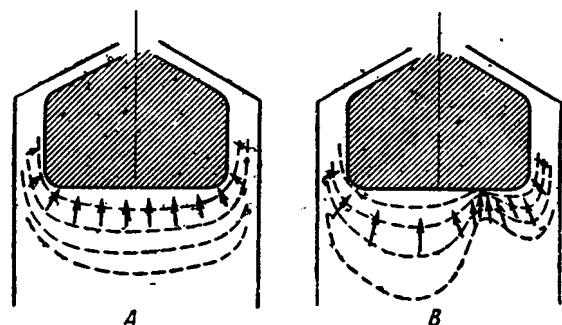


Рис. 4. Схема искажения плотности тока и распределения поля

«елочки», в местах промежуточных ложных анодов — цвета побежалости.

Образование нового каскада, нового катодного пятна «стоит» дуге 10 В. Для возникновения катодного пятна требуются еще дополнительные условия⁶, достаточные степени ионизации, давления газа или пара и разность напряжения между корпусом и плазмой, превышающая 10 В.

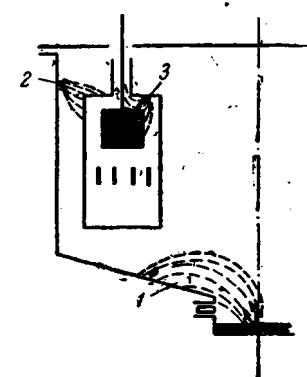


Рис. 5. Схема каскадного горения дуги. Стрелками отмечены катодные пятна

Замыкание дуги через корпус легко наблюдать в начале формовки выпрямителей, когда из-за быстрого выделения посторонних газов падение в дуге достигает больших величин. Если дуга замыкается через корпус случайно, в редкие периоды, — это явление не приводит к аварии.

Если дуга замыкается на корпус каждый период, части корпуса разогреваются, выделяют газы, давление повышается и происходит обратное зажигание. При замыкании на стенку токов к. з. или обратного зажигания и их замедленном отключении, на частях корпуса, манжетах, фильтрах остаются следы легкого оплавления.

Правильно понятые и изученные процессы не представляются уже непреодолимыми препятствиями к дальнейшему развитию выпрямителей. Для преодоления трудностей всегда появляются новые технологические и конструктивные решения.

Конструктивные задачи. Первой конструктивной задачей является нахождение общей конструктивной формы, наиболее отвечающей физическому процессу.

Путь, пройденный в этом направлении ионными приборами, хорошо иллюстрирует рис. 6. На нем слева (I) представлен эскиз, взятый из патентной заявки 1906 г. Купера Хьювита на металлический ртутный выпрямитель, а справа (II) современный газотрон, впервые разработанный Гулем в 1932 г. В газотроне Гуля катод расположен внутри полого графитового анода. Эта конструкция отвечает уже теории плазмы.

Вторая задача объемлет конструктивные «частности». Поясним на двух примерах. На рис. 7 дан эскиз анодного ввода. Если условия работы

выпрямителя вызывают переохлаждение анодного ввода, а конструкция позволяет скопиться в «затылке» анода значительному количеству ртути, то ртуть, стекая струйкой, замыкает фланец анода с корпусом и вызывает обратное зажигание. Этот порок имели некоторые конструкции AEG и один наш опытный выпрямитель с управляющими сетками. В выпрямителях на большую силу тока описанное явление вызывало иногда поломку анодного изолятора⁷.

Применение в конструкциях завода «Электросила» анодного изолятора с хвостом полностью устранило описанное явление. Второй пример касается стока ртути в катод выпрямителя. На рис. 8 представлена схема стока ртути в катод с одновременной фильтрацией. Ртуть, стекая по нижнему конусу, заполняет отверстия в промежуточном кольце и переливается через круглые отверстия а. Струйка ртути, падая в катод, обязательно должна разрываться и падать каплями. Случай А имеет место, когда отверстие а слишком велико. Струйка не разрывается и замыкает катод с корпусом. При большой нагрузке это вызывает «заскок» дуги на корпус и горение дуги под щитком на промежуточное кольцо, как на анод. Чтобы получить разрыв струи, отверстие а нужно уменьшить (диаметр порядка 2 мм). Опять-таки, если катодный щиток б сделан погенным и плохо центрирован, струйка может ракошетом коснуться теплового экрана в (случай В). Решает задачу сточный канал, изображенный на рис. 8 (В). Здесь узкий вначале канал уширяет при выходе. Узкая часть канала дает небольшое количество ртути, обеспечивая разрыв струйки а широкая часть уменьшает скорость струи и заставляет ее падать вертикально вниз.

Приведенные примеры показывают, насколько глубоко должны быть продуманы все мелкие конструкции. Отсюда понятно также, что основной проверкой выпрямителя служит опыт эксплуатации.

Третья задача и не менее важная — это задача технологическая. Конструкция должна предусматривать возможность надлежащей обработки всех деталей. В этом отношении конструкция должна быть возможно более проста.

Чистота и однородность материала голого анода, обработка ее поверхности существенно сказываются на работе выпрямителя, как это отчасти выяснили выше.

Каждая лишняя деталь ослабляет выпрямитель. Все части корпуса должны быть доступны

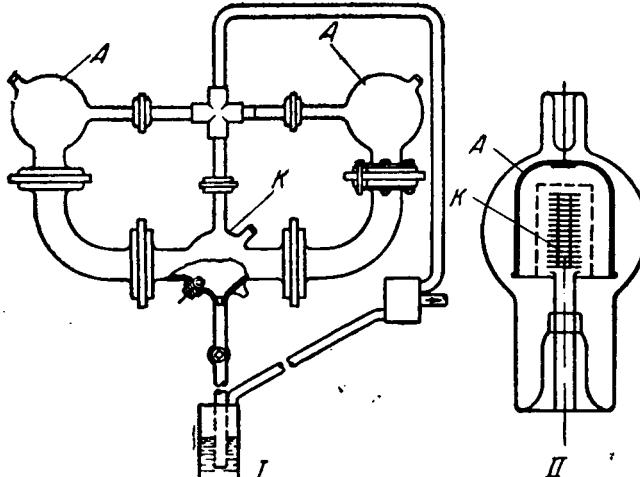


Рис. 6. I — металлический ртутный выпрямитель Хьювита, II — газотрон Гуля

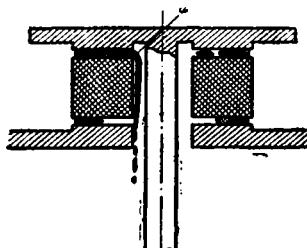
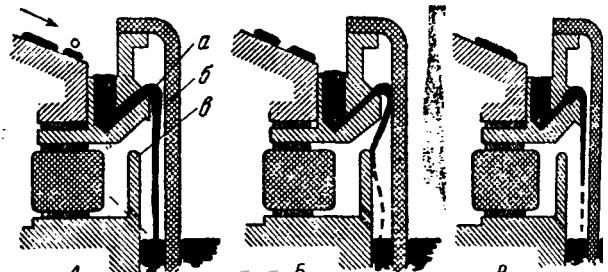


Рис. 7. Схема анодного ввода



механической очистки. Из корпуса выпрямителя последних конструкций BBC убраны все цилиндры и воронки, экранировавшие стенки от дуги в прежних конструкциях.

Укажем далее на основные конструктивные тенденции.

Примерно к 1930 г. конструкции основных европейских фирм временно стабилизовались. Выпрямители устойчиво работали на 2000—3000 А. Без достаточных оснований были подобраны геометрические параметры: плотность тока (считая по амплитуде) на поверхности анода — 3—4 А/см², объем корпуса 0,5 л/А, его активно конденсирующая поверхность — 0,3 дм²/А выпрямленного тока. Для достижения больших мощностей фирмы пользовались методом геометрического подобия. Однако успеха не достигли.

Фирма BBC в брошюре, выпущенной в 1930 г. на русском языке, указывает для одного типа ток 16 000 А. В листе фирмы от 1933 г. указывается для него уже 8500 А. В 1935 г. тот же тип выпрямителя былпущен в эксплуатацию на силу тока всего в 5000 А. Подобный путь назад проделали также фирмы SSW и AEG. Нам также пришлось несколько отступить от 7000 к 5000 А.

Принцип подобия себя не оправдал. Чем больше габарит, тем больше падение в дуге, большее тенденция к разрыву. Чем больше ток, тем значительнее всякого рода флюктуации.

Теория плаэмы, успех газотронов, изучение физического процесса наметили новые конструктивные принципы.

Вакуумный корпус должен быть возможно меньше. Уменьшение его сокращает длину дуги и падение напряжения в ней. Необходимое давление ртутного пара должно поддерживаться не величиной поверхности, а температурой ее. Причем сама активная поверхность должна располагаться ближе к катоду.

Повышение давления ртутного пара не спасло, как мы уже указывали. Обратные зажигания не вляются результатом пробоя ртутного пара. Падение в дуге растет внутри длинной манжеты. Поэтому плотность тока в манжете должна быть понижена с 3—4 до 2 А/см². На смену длинной манжете должна притти короткая с густым фильтром.

Корпус должен быть только камерой, вмещающей аноды. Хорошим критерием выпрямителя является отношение площади рабочих торцевых поверхностей анодов к площади сечения корпуса. Если в прежних конструкциях это отношение равнялось 0,09, то в последних конструкциях передовых фирм оно доходит до 0,30.

Достаточно полно проведены указанные принципы в последних конструкциях фирмы GEC. На рис. 9 дан вид снизу на крышку корпуса с анодами выпрямителя GEC на 5000 А выпуска 1937 г. Как видно, площадь корпуса использована полностью. Аноды защищены короткими манжетами с густыми фильтрами. Не все фирмы, однако, стоят на уровне современных физических воззрений. В частности, неправильные взгляи Альфреда Сименса⁸ привели SSW назад к



Рис. 9. Вид снизу на крышку с анодами выпрямителя GEC

конструкциям с узкими анодными рукавами для выпрямителей средних и малых мощностей⁹.

Наряду с основными конструктивными принципами, следует указать на вторичные конструктивные задачи, например, в конструкции анода необходимо предусмотреть правильный температурный режим. Температура головки анода не должна выходить из пределов 450—650°. При более низких температурах вероятность обратных зажиганий увеличивается. Нельзя допускать температуру ввода выше значения, определяемого уплотнениями — для резины — 80°, для эмали — 150°. Тыльную, холодную, плохо обезгаженную часть анода нужно хорошо защитить от проникновения туда разряда. Изоляция катода от корпуса должна сохраняться и при стоке больших количеств ртутного конденсата.

В случае применения управляющих сеток встают дополнительные конструктивные задачи. Сетка увеличивает падение напряжения в дуге; это увеличение не должно быть значительно. Сетка не должна уменьшать сечение дуги и не должна распыляться, изоляция ее должна сохраняться в течение достаточного срока. Несмотря на дополнительный ввод, величина головки анода не должна уменьшаться, иначе соответственно уменьшится мощность выпрямителя.

Завод «Электросила» в 1939 г. должен полностью освоить новую серию выпрямителей, отвечающую всем поставленным выше требованиям. На рис. 10 представлен выпрямитель типа PB10 на 1000 А новой серии. Корпус его цилиндрической формы. Аноды защищены короткими манжетами с густыми фильтрами. В подобном же выпрямителе типа PB5 падение напряжения при полной нагрузке достигает при схеме трансформатора звезда — двойной зигзаг всего 18 В, а при схеме с разделющей катушкой оно еще меньше. Таким образом падение напряжения в этом выпрямителе больше падения в игнайтроне всего на 5 В, а не в два раза, как это утверждает инж. Уайт в своей статье в журнале «Электричество» № 2, 1939 г.

На рис. 11 приведен разрез корпуса выпрямителя новой серии на 3000 А. Коеффициент использования корпуса в этой конструкции достигает 35%. Съемная крышка позволяет производить монтаж анодов снизу. Крышка легкая, без единого шва сварки. Все швы корпуса завариваются изнутри «атомным водородом». Испытание швов производится большим давлением при помощи наварного кармана.

На рис. 12 приведены для сравнения размеров

выпрямители на 3000 А старой и новой серий. Вес выпрямителя новой конструкции меньше на 40%.

Выпрямители новой серии легко удовлетворят требованиям нового стандарта. Новые типы на 500—1000—2000—3000 и 5000 А при напряжениях до 600 В для промышленных установок и городского транспорта должны давать следующие перегрузки: 100% — 10 sec, 50% — 2 min и 25% — 15 min. Выпрямители для железных дорог должны давать перегрузки: 50% — 2h, 200% — 5 min.

Эти условия соответствуют международным нормам.

В новой серии выпрямителей особое внимание уделено аппаратуре. Начиная с 1939 г., все выпрямители будут выпускаться со своей аппаратурой, смонтированной в отдельном шкафу. На рис. 13 представлен шкаф с аппаратурой зажигания, возбуждения и питания насосов для выпрямителей РВ5, РВ10 и РВ20.

Каждому мощному выпрямителю придается своя насосная установка, состоящая из ртутного и форвакуумного насосов, ртутного или электрического вакуумметра. Обеспечение надежности работы насосов при простом или автоматическом обслуживании их не представляет трудности для мощных выпрямителей.

Для выпрямителей малой мощности насосная установка является обузой. Вот почему некоторые фирмы разработали конструкции «отпаянных» выпрямителей на 500—800 А. Для этих выпрямителей уплотнениями служат или эмаль (Англ. GE), или сталь фарфора с тонким листовым металлом (AEG). Чтобы предупредить диффузию ионов водорода сквозь листовую сталь, запаянные выпрямители делаются обычно не с водяным, а с воздушным охлаждением. Практика эксплуатации покажет, как долго могут работать стпаянные выпрямители без повторной заводской откачки.

На заводе «Электросила» получены вполне удовлетворительные эмалиевые вводы, позволяющие ставить вопрос об отпаянных выпрямителях на ближайшую очередь.

Наиболее полно использование корпуса и получение минимального падения напряжения дуге может быть достигнуто в одноанодном суде, подобном газотрону (рис. 6.).

Одноанодные выпрямители получили свое р

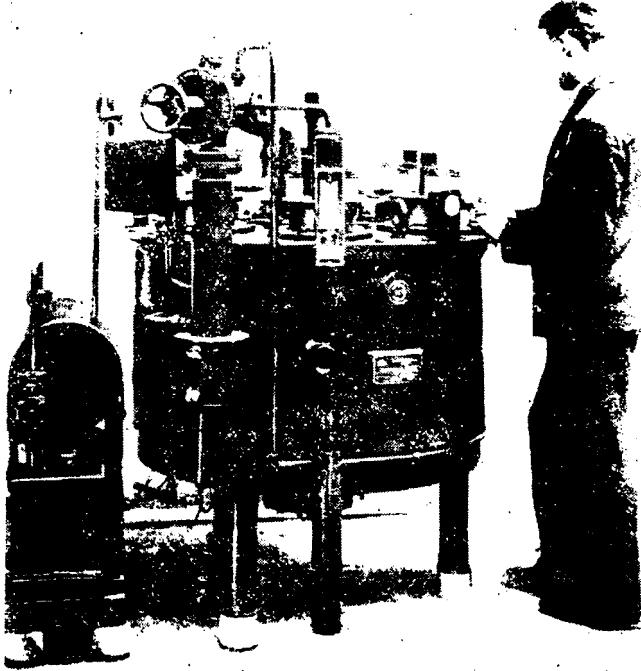


Рис. 10. Выпрямители типа РВ10 цилиндрической серии

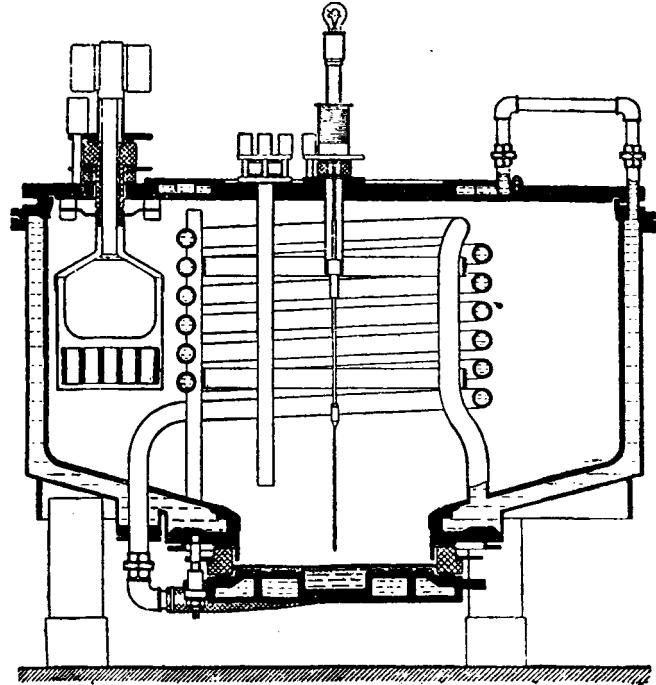


Рис. 11. Разрез выпрямителя новой серии на 3000 А

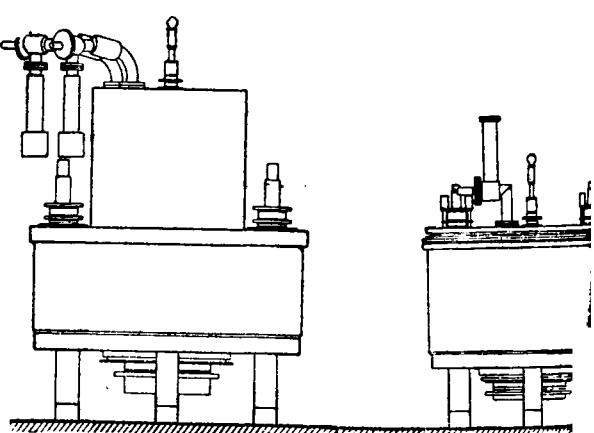


Рис. 12. Контуры выпрямителя новой и старой серий

вление только после того, как д-р Слепян предложил способ зажигания катодного пятна в начале каждого периода при помощи искры, получающейся между ртутью катода и вспомогательным электродом из карборунда. Такие одноанодные выпрямители получили название игнайтров.

В металлическом игнайтроне корпус служит лишь для помещения анода. Защиты стенок от катодного пятна не требуется: возникнув в начале периода у игнайтера, пятно за часть периода не успеет добежать по поверхности ртути до стенки корпуса. Ртуть, налитая тонким слоем на охлаждаемую водой поверхность корпуса, не перегревается. Сама ртуть здесь является основной конденсирующей поверхностью.

В таком приборе из-за отсутствия непрерывного возбуждения отпадает потребность в экранировании анода от плазмы в непроводящую часть периода. Небольшое разрядное пространство очень быстро дейонизируется. При расположении анода непосредственно над катодом в дуге не создается резких повышений напряжения даже при очень больших пиковых значениях тока и холодной ртути.

На рис. 14 представлен отпаянный сварочный игнайtron GEC. Его диаметр 70 mm, высота — 300. Игнайtron дает максимальный ток 2100 A при 24 A средней нагрузки или 700 A при 10 A средней. Для предупреждения диффузии ионов водорода корпус сделан из хромистой нержавеющей стали. Вводы стеклянные.

На рис. 15 представлен шестифазный игнай-

трон той же фирмы на 4000 A, 250 V. Он собран из шести однофазных игнайтров, смонтированных на общей раме. На этой же раме смонтирована вакуумная установка.

Одно из значительных преимуществ игнайтров — возможность собирать многофазные агрегаты из однофазных стандартных приборов. Изготовление шестифазных игнайтров, связанных общим корпусом, подобных описанному инж. Уайт в журнале «Электричество» № 2, 1939 г., фирмой Вестингауз прекрасно.

В СССР стеклянные игнайтрыны освоены нашими вакуумными заводами. В журнале «Электричество» № 2, 1939 г. описаны пробные конструкции металлических игнайтров ВЭИ. Пробная эксплуатация должна показать их пригодность и надежность.

На заводе «Электросила» идет работа над отпаянными игнайтровами и над мощными сборными.

На рис. 16 приведена фотография первого опытного игнайтрана завода «Электросила» на средний ток 150 A.

Игнайтрыны найдут широкое применение в ос-

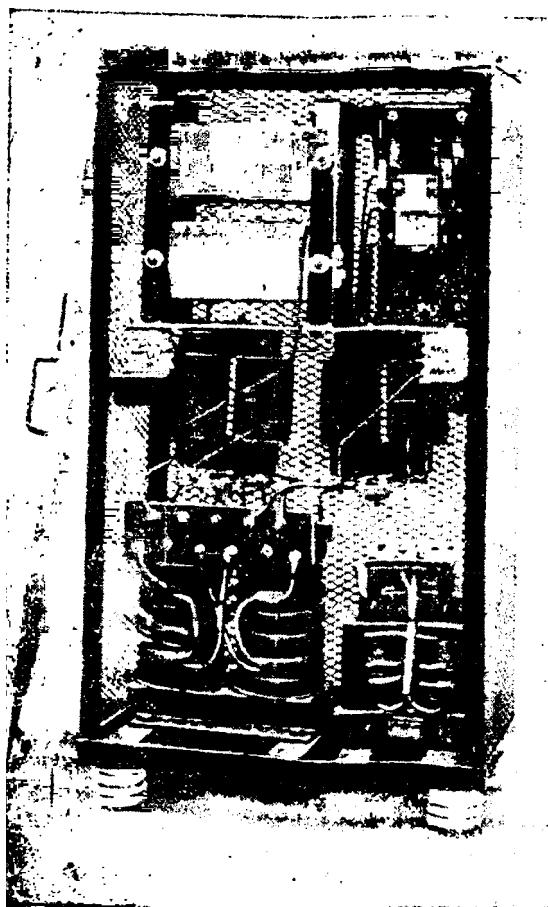


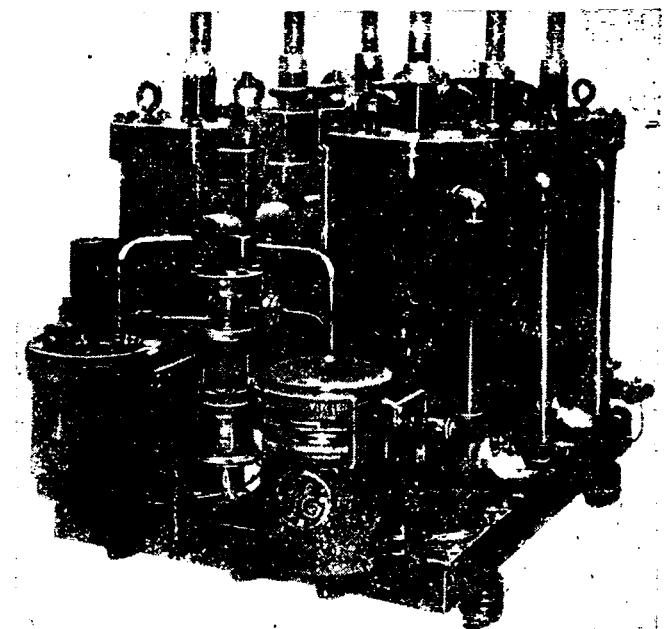
Рис. 13. Шкаф с аппаратурой выпрямителя

Вологодская областная универсальная научно-исследовательская библиотека

www.booksite.ru



Рис. 14. Металлический отпаянный игнайtron GEC



Сборка шестифазного игнайтрана GEC на 4000 A, 250 V

250 V

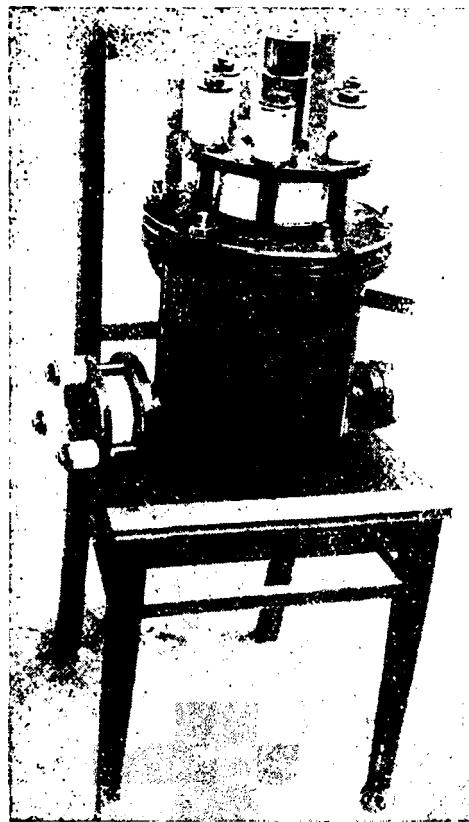


Рис. 16. Опытный игнайтрон завода „Электросила”

новном для низких напряжений. Основная задача здесь — срок службы игнайтера и упрощение схемы зажигания.

Вопросы применения выпрямителей. Чем выше напряжение выпрямленного тока, тем выше к. п. д. выпрямителя. Но в отличие от электрических машин к. п. д. ртутных выпрямителей падает с увеличением габарита. Это происходит потому, что с увеличением габарита путь дуги удлиняется и падение напряжения в ней увеличивается. Поэтому напряжение, при котором к. п. д. выпрямителя равен к. п. д. мотор-генератора, зависит от мощности.

Для малых мощностей это напряжение составляет 200 V, для больших — 275—300 V. Здесь речь идет о к. п. д. при полной нагрузке. Для установок с переменной нагрузкой, в среднем ниже номинальной, выпрямители оказываются экономичнее и при более низких напряжениях.

С каждым годом граница экономичности сдвигается в пользу выпрямителей. Реализация указанных выше конструктивных принципов дает значительное снижение падения в дуге. Так например, последняя конструкция выпрямителя GEC на 5000 A дает падение в дуге всего 24 V.

Выпрямитель РВ-5 новой серии имеет падение напряжения при схеме трансформатора двойной зигзаг 18 V, а при схеме с разделяющей катушкой оно еще ниже. Еще больше отодвинута граница применимости выпрямителей в сторону низких напряжений игнайтры.

Область напряжений ниже 120 V отойдет к твердым выпрямителям: купроксным, селеновым и пр. Выпрямители этого типа получают все

большее распространение. Есть установки 11 000 A.

Наскогдня дело обстоит так, что не только сам выпрямитель дешевле мотор-генератора, по станция для выпрямителей меньше, проще и дешевле. В среднем подстанция с выпрямителем в 2 раза дешевле подстанции с мотор-генераторами.

Малые мощности. Металлическим ртутным выпрямителям приходится конкурировать со стеклянными приборами: стеклянными ртутными выпрямителями, газотронами и тиатронами. Преимущество металлического выпрямителя — практически неограниченный срок службы. Срок службы колбы стеклянного выпрямителя в 1—2 года требует от потребителя ежегодных хлопот по получению запасных колб, а от завода-изготовителя давать ежегодно интегральный выпуск за предыдущие годы. При невозможности механизировать процесс изготовления колб эта задача легка.

После освоения воздушных и запаянных конструкций металлические выпрямители сдвинут границу применения стеклянных приборов к 200—300 A и ниже. Сухие запаянные металлические выпрямители найдут широкое применение в обычных схемах выпрямления, в регулируемой электроприводе небольших станков и в схемах вентильтных двигателей.

Средние мощности. Металлические ртутные выпрямители прочно завоевали область тяги и питания заводских сетей постоянного тока при напряжении 460, 500 и часто 230 V. Дальнейшее развитие этих выпрямителей направлено в сторону повышения эксплоатационных свойств, введения автоматизации обслуживания, упрощения монтажа и пуска.

Особо остро стоит вопрос об автоматизации охлаждения выпрямителей, несущих большие перегрузки при сильно переменной нагрузке. Выпрямители для железнодорожной тяги должны снабжаться циркуляционным устройством охлаждения. Введение охладителей по системе воздуха разрешит вопрос охлаждения на удаленных от водопроводной сети подстанциях.

В Южной Африке и Италии¹⁰ фирмой BBC выполнены единичные железнодорожные установки с рекуперацией энергии ртутными преобразователями. Наша ближайшая задача выполнить опытную установку этого рода.

Целесообразно ли снабжать выпрямители средней мощности, предназначенные только для образования переменного тока в постоянных управляющими сетками?

Управляющая сетка усложняет конструкцию анода и потому ослабляет выпрямитель. Система питания сеток усложняет схему выпрямителя, затрудняет монтаж и эксплуатацию. Введение сеточной защиты целесообразно только для высоких напряжений, при которых обратные зажигания вероятны не только как редкое исключение.

Вообще управляющие сетки для средних мощностей должны применяться только там, где они необходимы для специальных режимов.

¹⁰ Е. и М. № 11, стр. 133, 1938; El. W. № 19, 1938.

11 BBC-Mitt. N 5/6, 1938.

Многоамперные выпрямители предназначаются для электролиза и для некоторых заводских и тяговых установок. Как указывалось выше, освоение многоамперных выпрямителей оказалось трудной задачей.

При больших силах тока растут отклонения от nominalного режима и больше всякого рода fluktuаций. При некоторых условиях возможно магнитное влияние дуги на себя же, ее стягивание (pinch — effect). В выпрямителях этого типа обратные зажигания более вероятны. В случае 3—4 повторных отключений обратных зажиганий масляным выключателем приходится в нем менять масло из-за большой разрывной мощности. В этих выпрямителях сеточная защита крайне желательна.

Несмотря на указанные трудности, подстанции для электролиза, где недопустимо нарушение питания ванн, могут быть выполнены вполне надежными. Для этой цели следует разумно выбирать резерв и в эксплоатации правильно его использовать. Резервные агрегаты, как правило, должны быть постоянно включены в работу. На южных установках, при большом числе параллельно работающих выпрямителей, резерв необходимо выбирать, руководствуясь соображением, чтобы при плановом ремонте одного агрегата и обратном зажигании в другом — нагрузка на остальные не должна превосходить допустимую.

Применение сдвоенных агрегатов, состоящих из одного трансформатора и двух выпрямителей, дает экономию в стоимости трансформатора и подстанции, но одновременно уменьшает резервирование.

Западно-европейская практика показывает, что в этом случае для установок с небольшим числом выпрямителей резерв устанавливается в 50%, как это сделала BBC на цинковом заводе в Магдебурге¹², и для установок с большим числом выпрямителей в 33%, как это выполнила AEG для электролиза алюминия¹³.

Режим электролиза требует обычно регулирования или напряжения или тока. Для многоамперных выпрямителей остро стоит вопрос о сеточном регулировании. Как было указано выше, при увеличении угла регулирования растет скачок коммутируемого анодного напряжения. При этом работа выпрямителей становится более трудной. Во всех европейских и американских установках, выполненных в последнее время, регулировка напряжения сетками производится в небольших мерах. Регулирование производится регулирующим автотрансформатором с переключением нагружкой. Сеточное регулирование допустимо и до нуля, но только или для низких напряжений, или с некоторым понижением допустимой силы тока.

Мощные выпрямители очень чувствительны к жару охлаждения. Для них обязательна циркуляционная система охлаждения. Нормируется только температура вытекающей воды, но также и температура входящей. Для выполненной в 1937 г. установки BBC на Парижском металломилитене температура входящей воды задана

в пределах 30—35°, а температура выходящей¹⁴ 47°.

В настоящее время предельный ток, на который строятся металлические ртутные выпрямители, — 5000—6000 А. Дальнейшее увеличение тока в одном сосуде в современных конструкциях не представляется рациональным.

Однако полное использование принципов конструкций, отмеченных выше, вероятно, позволит строить надежный и экономичный выпрямитель на токи до 8000 А.

Управляемый электропривод. Управляющие сетки в ртутном выпрямителе позволяют плавно регулировать напряжение путем встречного включения — рекуперативно тормозить двигатель привода и, наконец, менять направление вращения. Все преимущества ртутного выпрямителя по сравнению с вращающимися машинами справедливы также и для системы Леонарда. Даже больше, отсутствие вращающихся масс, обладающих большой инерцией, дает возможность интенсифицировать режим, повысив производительность станов. Одной из задач третьей пятилетки явится внедрение управляемых выпрямителей в электропривод реверсивного проката, шахтного и доменного подъема.

При освоении этой задачи встанут большие трудности. В первую очередь потребуются вполне надежные управляемые выпрямители, способные при всех положениях давать нужные перегрузки. Во-вторых надежная и удобная схема управления. Разрешить поставленную задачу можно путем выполнения пробных установок. Первые установки будутпущены в 1939 г.

В некоторых случаях на первый раз можно применить простейшие схемы, используя только плавную регулировку напряжения и реверс от включенного навстречу второго выпрямителя производя торможение на реостат. По этому пути пошли фирма GE в Англии¹⁵ и ASEA в Швеции¹⁶.

Высокое напряжение. В отношении высокого напряжения развитие ртутных выпрямителей значительно опережает спрос. Выпрямители высокого напряжения могут быть применены сейчас только для питания анодов радиопередатчиков на радиостанциях. Здесь требуется выпрямленный ток при напряжении всего 12—22 кВ, мощностью, всего 1000—1500 кВт. Между тем на заводских стендах у фирмы BBC и SSW испытаны выпрямители на 60—100 кВ. Мощность порядка 500—1000 кВт может быть получена также газотронами, которые привлекательны своей простотой. И только для больших мощностей явится потребность в ртутных выпрямителях металлической конструкции.

Напряжения порядка 60 кВ не являются пределом. Неограниченные возможности для повышения напряжения открывает применение каскадного емкостного экранирования анодов и введение в ртутный пар примесей. Все это заставляет думать, что при решении задачи о передаче энергии постоянным током высокого напряжения

¹⁴ RGE № 19, стр. 591, 1938.

¹⁵ El. Rev. VIII—12, стр. 212, 1938.

¹⁶ ASEA № 8, 1937.

прибором для прямого и обратного преобразования тока является не дуговой выпрямитель Е. Маркса, а ртутный. В дуговых выпрямителях имеются принципиальные трудности, например, обгорание электродов, отклонения от правильно-го режима дуги, обратные зажигания.

Задача передачи энергии постоянным током может быть решена только путем сооружения опытных эксплоатационных линий передач. Начинать надо с небольших мощностей и напряжений порядка 22—30 кВ, 3000—5000 кВт. Применительно к конкретным условиям установки должны быть разработаны выпрямители и схемы. В опытной же эксплоатации они должны быть доработаны и проверены. При эксплоатации опытной линии должно быть также проверено

прямое и обратное преобразование в условиях коммутационных и аварийных режимов.

Велики задачи, стоящие перед производством выпрямителей в третьей пятилетке. Электрификация 1840 км железных дорог, увеличение выплавки алюминия (включая силумин) в 1942 г по сравнению с 1937 г. не менее чем в 4 раза — все эти задачи, указанные в резолюции XVIII съезда ВКП(б) по докладу тов. Молотова, требуют особого внимания к ртутным выпрямителям.

Реконструкция цеха ртутных выпрямителей на заводе «Электросила», прекрасные кадры работников по выпрямителям и весь наш опыт являются основой дальнейшего быстрого развития этой важной отрасли советской электротехники.

Из опыта эксплоатации советских мощных ртутных выпрямителей

Г. К. ЦВЕРАВА

Днепровский алюминиевый завод им. Кирова

КАК УЖЕ сообщалось на страницах журнала «Электричество»¹, первые мощные советские ртутные выпрямители РВ-50 с управляющими сетками² были пущены в 1937 г. на преобразовательной подстанции Днепровского алюминиевого завода им. Кирова.

Весьма поучительным оказался опыт эксплоатации этих выпрямителей с точки зрения оценки существующей схемы питания.

Напомним, что главный трансформатор ртутно-выпрямительного агрегата имеет схему соединений: треугольник (или звезда) — сдвоенная несвязанная шестифазная система с трехфазной катушкой Кюблера. Несмотря на то, что во времена проектирования данной установки уже имелся печальный опыт работы трансформаторов с расщепленной фазой, в частности, на тяговых подстанциях, все же применили не оправдавшую себя схему. Вследствие этого трансформаторы оказались весьма чувствительными к динамическим усилиям во время обратных зажиганий; один трансформатор даже вышел из строя. В дальнейшем учли это обстоятельство и приняли схему с анодными делителями.

Расщепленные ветви фаз вторичной обмотки трансформатора замыкаются перемычками, и разделение производится в анодных делителях.

На рис. 1 показана схема питания выпрямителя в нынешнем виде. Единственным преимуществом схемы с трехфазной катушкой Кюблера является облегченная работа анодов, вызванная одновременным горением шести анодов из двенадцати. Однако при данной конструкции анода можно

было идти на незначительное повышение анодного тока за счет упрощения схемы и облегчения конструкции трансформатора. Поэтому в новых установках принята наиболее рациональная и получившая повсеместное признание схема: звезда — две обратные звезды с двухфазной катушкой Кюблера и анодными делителями.

Кроме того, в эксплоатации трансформаторов

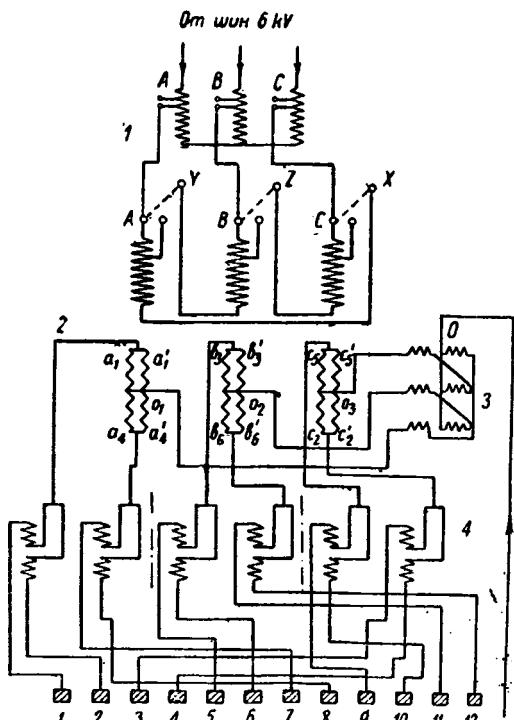


Рис. 1. Схема питания РВ-50:

1 — автотрансформатор; 2 — главный трансформатор. 3 — катушка Кюблера, 4 — анодные делители

¹ «Электричество» № 14, 1937.

² Обозначение «РВ-50» дано согласно проекта нового стандарта.

возникло еще одно затруднение. Трансформаторы по паспорту предназначены были для работы на выпрямленное напряжение порядка 800 V. Так как электролизные серии завода работают при напряжении 400 V, то такое напряжение можно было получить или каскадным включением второго автотрансформатора, или переключением первичной обмотки главного трансформатора с треугольника на звезду. Наиболее простым оказался второй способ. Однако при работе с такой схемой наблюдались нежелательные перегревы кожуха трансформатора (до 150° С), вызванные вынужденным потоком намагничивания. Для изжития этих ненормальностей было принято наиболее правильное решение о замене имеющихся автотрансформаторов на другие с большим коэффициентом трансформации. В настоящее время на одном агрегате установлен новый автотрансформатор типа АТМ $\frac{1000}{20}$ мощностью 3550—3900 kVA при напряжении 6300/4100—4500 V. С таким автотрансформатором легко получается требуемое выпрямленное напряжение при соединении треугольником главного трансформатора.

Принятая на стороне переменного тока схема защиты полностью себя оправдала. Принцип сочетания максимально-мгновенной и перегрузочной защиты с выдержкой времени на фидере р. в. оказался удобным для правильной эксплоатации.

При параллельной работе мотор-генератора с выпрямителем отключения последнего от сети 6 kV могли происходить от двух причин: либо от перегрузки либо от обратного зажигания. Важно было уметь отличать эти два рода отключений, так как, во-первых, отсутствовал специальный индикатор обратных зажиганий, и, во-вторых, быстродействующий автомат обратного действия должно отключался и при перегрузках. Такая «работа» автомата объясняется тем, что отключение масляника от перегрузки равнозначно резкому сбросу нагрузки, вследствие чего, также благодаря конструктивным особенностям автомата происходит его ложное отключение. Для устранения этого недостатка предложено уменьшить примерно вдвое железный пакет индуктивного шунта автоматов БДА-20-А.

Опыт показал, что если срабатывала максимально-мгновенная защита (и БДА), то, как правило, причиной являлось обратное зажигание. Дновременное ухудшение вакуума в выпрямителе подтверждало такое предположение. Правильный выбор уставок релейной защиты и достаточночная скорость срабатывания сдвоенных быстродействующих автоматов обеспечивали при обратных зажиганиях нормальную работу параллельно включенных мотор-генератора и ртутных выпрямителей.

За время эксплоатации схемы собственных и сеточного регулирования не подвергались существенным изменениям, и в целом выбор оборудования не вызывал нареканий. Укажем только что за последнее время стали часто перегореть нагревательные элементы ртутных насосов. Можно отметить также интересный факт о разрыве выпрямителей на серию ванн при отключении

ном возбуждении. Как известно, для поддержания катодного пятна в ртутных выпрямителях необходимо наличие постоянно горящей дуги. В случае отсутствия внешней нагрузки эта дуга поддерживается анодами возбуждения. Для нагрузки, имеющей прерывистый характер, например для тяговой, работа анодов всевозбуждения обязательна, так как ртутный выпрямитель должен быть всегда готов к принятию полезной нагрузки. Наоборот, электролизные установки отличаются строго постоянной и практически сколь угодно длительной нагрузкой, которая может исчезать только при аварийных режимах. Следовательно, в этом случае горение анодов возбуждения совместно с главными анодами не является необходимым, и отключение трансформатора возбуждения будет мероприятием, снижающим потери во вспомогательных цепях выпрямителя. Экономия электроэнергии в одном агрегате может составить 60 000 kWh в год.

При переходе на работу с отключенным возбуждением нужно предусмотреть рубильник в цепи катода возбуждения, одновременно отключаемый с трансформатором возбуждения. Необходимость разрыва цепи катода вызвана тем, что при отключении трансформатора возбуждения обесточивается контактор, контакты его замыкаются, и игла зажигания получает потенциал катода. При этом игла зажигания под влиянием ионного тока может служить причиной обратных зажиганий и сама сгореть.

В предыдущей нашей статье уже говорилось об основных трудностях, связанных с конструированием анода с управляемой сеткой высокочастотного выпрямителя. В процессе эксплоатации и довольно часто переборок, конструкция анода продолжала видоизменяться. К концу 1937 г. выработалась модель анода А-36-В, которая удержалась до сего времени. В этом аноде (рис. 2) идея защиты фланца сетки от стержня получила наиболее правильное разрешение, выразившееся в установке хвостового изолятора.

Однако и эти аноды имеют крупный недостаток, послуживший причиной многих аварий. Дело в том, что крепление манжеты с сеткой на стержневом изоляторе создает такие усилия в последнем, что зачастую фарфор трескается, манжета обвисает и замыкается с корпусом. Вследствие этого заводом-изготовителем предло-

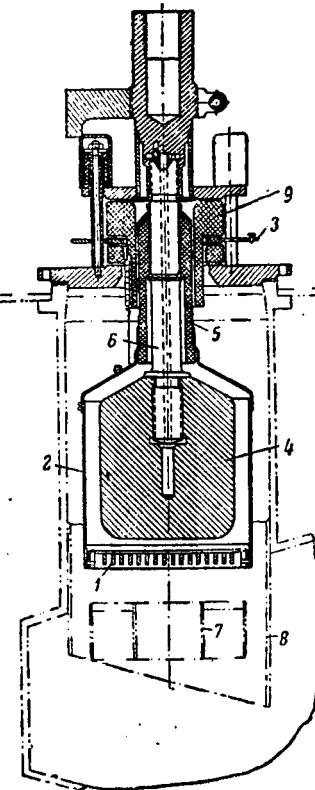


Рис. 2. Разрез анода А-36-В:
1 — сетка, 2 — манжета, 3 — фланец сетки, 4 — головка анода, 5 — стержневой изолятор, 6 — стержень, 7 — фильтр, 8 — козырек, 9 — хвостовой изолятор

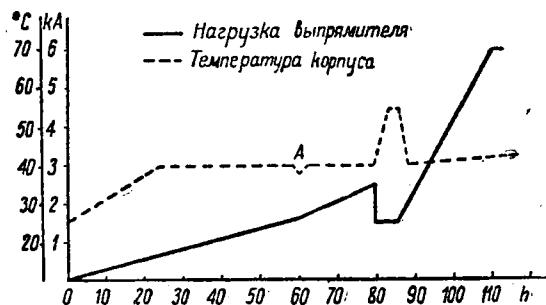


Рис. 3. График формовки РВ-50:
A — переход в режим короткого замыкания

жена новая модификация — анод А-36-VI. Здесь предусмотрено солидное крепление манжеты тремя изоляторами непосредственно к фланцу анода. Таким образом стержневой изолятор освобождается от нагрузки и, очевидно, разрушаться не должен. В этой же модели дано более совершенное крепление графитовых пластин к ободу сетки, которые в старых типах анодов часто ломались, выпадали из обоймы и замыкали сетку с фильтром. Анодами А-36-VI снабжены все новые установки с выпрямителями РВ-50.

Система охлаждения ртутных выпрямителей оказалась самым слабым местом в эксплуатации. Предусмотренный циркуляционный цикл не выдерживался до конца, так как вся система охлаждения по своему несовершенству находилась в определенной связи с сетью технической воды преобразовательной подстанции, что было явно ненормальным.

Опыт работы агрегатов РВ-50 еще раз подтвердил, что высокоамперные выпрямители весьма чувствительны к переохлаждению не только анодов, но и катода. Установлено, что температура входящей воды должна быть не ниже 25—30° С.

Анализ нескольких типичных аварий, произошедших с выпрямителями из-за несоблюдения температурного режима, в частности из-за переохлаждения, показал следующее. Сконденсированная в ненормально большом количестве на торцевой части катодного изолятора ртуть замыкает промежуточное кольцо с экраном донницы. Проходящий по ртутному мостику ток испаряет ртуть, вследствие чего образуется дуга с катодным пятном на экране донницы и с промежуточным кольцом в качестве анода. Как правило, такое неправильное течение процесса в выпрямителе, вызванное переохлаждением катода, приводит к обратным зажиганиям, сопровождающимся повреждением деталей.

Радикальной мерой, улучшающей эксплуатацию выпрямителей в части охлаждения, является переоборудование существующей системы с переходом на автоматическое регулирование температуры корпуса.

Благодаря частым переборкам накопился большой опыт по вопросам, связанным с формовкой мощных выпрямителей. В целях ускорения и рационализации процесса график формовки постепенно видоизменялся и принимал все более совершенный вид. В настоящее время вполне определился характер формовки выпрямителей типа РВ-50, график которой приведен на рис. 3. Полное время формовки длится 90—100 ч

вместо 150—200 ч. В начале эксплуатации наличие управляемых сеток позволяет вести формовку не на реостате, как обычно, а в режиме к. з. Однако первый период формовки ведется на реостате, и переход в режим к. з. осуществляется после того, как загорятся все аноды. По графику переход в режим к. з. происходит при токе 1500—2000 А. Формовка применяемым способом уменьшает непроизводительный расход электроэнергии и облегчает работу обслуживающего персонала.

Применяемый способ формовки характерен следующим. При токе, равном примерно половине номинального тока выпрямителя, нагрузка в течение 4—5 ч снижается до 1500—2000 А, и в этот период температура корпуса искусственно повышается с 40 до 50—55° С. Этим достигается прогрев и обезгаживание самого корпуса — формовка корпуса. Затем температура корпуса вновь доводится до 40° С, и производится дальнейший подъем нагрузки до 6000 А.

В тесной связи с формовкой стоял вопрос о подъеме нагрузки на исправном выпрямителе после его длительной стоянки в резерве. В начальный период эксплуатации пуск в ход резервного выпрямителя являлся чрезвычайно сложной операцией, отнимающей много времени и требующей квалифицированного персонала. Необходимо было предварительно подогревать корпус теплой водой, подаваемой из специально для этой цели предназначенного электрокотла; перед включением выпрямителя на серию производилась полформовка на реостате или в режиме к. з.

Модернизация конструкции и освоение эксплуатации ртутных выпрямителей позволило в значительной мере упростить процесс ввода в работу холодного агрегата. Выпрямитель без всякого подогрева включается на серию параллельно с мотор-генератором. Ток выпрямителя медленно повышается с 200—400 А до номинального значения 4500—5000 А. Подъем нагрузки длится 10—11 ч, причем особое внимание уделяется правильному ведению температурного режима. В табл. 1 приведены некоторые данные характеризующие ввод резервного выпрямителя в работу.

Время	Ток А	Темпер. корпуса	Темпер. фланца анода	Темпер. колонки	Темп
1255	—	22	23	22	22
1335	200	22	23	21	20
2400	4500	37	49,5	24	61

В итоге опытная эксплуатация первых сибирских высокоамперных выпрямителей в условиях длительной нагрузки на электролиз позволяет сделать следующие выводы:

1. Советская электропромышленность должна конструировать и производство мощных выпрямителей с управляемыми сетками. Необходимо продолжать работу над совершенствованием этих выпрямителей.

2. Наши новые и реконструируемые алмазные заводы можно и нужно строить на базе образовательных подстанций, оборудованных исключительно советскими ртутными выпрямителями. Это в равной мере относится и к электролизным предприятиям, рабочее напряжение которых не ниже 400 В.

Условия разрыва дуги металлического ртутного выпрямителя

Н. Н. ПЕТУХОВ и В. И. ДРОЗДОВ

Завод „Электросила“ им. Карова

ПРИ ПЕРЕГРУЗКАХ ртутного выпрямителя выше некоторого предела, до которого падение напряжения в дуге мало изменяется, могут при определенных условиях возникнуть перенапряжения в несколько десятков тысяч вольт.

Появлению перенапряжений всегда предшествует резкое возрастание падения в дуге в моменты времени, близкие к максимуму анодного тока. Одновременно с возрастанием падения напряжения наблюдается некоторое уменьшение тока дуги с тенденцией к ее разрыву. Это явление, которое в дальнейшем будет именоваться для краткости „разрыв дуги“, тем более вероятно, чем больше амплитуда анодного тока и чем ниже температура стенок ртутного выпрямителя¹. Оно наблюдается особенно часто при коротких замыканиях и обратных зажиганиях. Чем большие изменения претерпевает падение в дуге в течение периода горения, тем более вероятны разрывы дуги, которые сопровождаются перенапряжениями, вызванными индуктивностью цепи.

Систематических исследований разрывов дуги, по нашему мнению, не имеется, однако объяснения, происходящие при этих явлениях, были даны Tonks², который рассматривает четыре возможные причины разрыва дуги при низком давлении: 1) продольный градиент давления газа, возникающий от движения ионов и электронов в продольном электрическом поле; 2) поперечный градиент давления, вызванный радиальным движением ионов от центра к периферии в поперечном электрическом поле; 3) магнитный эффект сжатия дуги (пинч-эффект) появляющийся вследствие взаимодействия электронов друг с другом, при их движении в продольном электрическом поле; 4) весьма низкая плотность газа в областях, образующихся в двойных слоях на катодной стороне всякого узкения дуги.

Для мощных металлических ртутных выпрямителей, для которых отношение диаметра разряда к его длине обычно близко к единице, особое значение будут иметь только последние две причины.

Метод измерений. Потенциал пространства определялся в точке изгиба полулогарифмических характеристик, снятых на вольфрамового сферического зонда, перемещаемого по ходу разряда³.

Изоляция зонда осуществлялась алюминиевой трубкой. Снятие юльтамперных зондовых характеристик производилось осциллографически. Характеристики определялись по осциллограммам тока и напряжения зонда для трех наиболее характерных моментов периода горения анода.

На рис. 1 представлены осциллограммы падения в дуге и анодного тока и показаны три исследуемых момента. Моменты 2 и 3 симметричны относительно максимума анодного тока. Момент 2 соответствует середине периода горения, момент 3 совпадает с горбом в падении напряжения.

Считая время от момента зажигания анода, получим для трех исследуемых моментов — 1, 2 и 3, соответственно $t_1 = 1,1$ мс, $t_2 = 2,9$ и $t_3 = 4,7$ мс.

Измерение распределения потенциала произведено на шестианодном металлическом ртутном выпрямителе при выпрям-

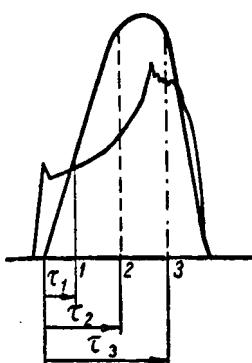


Рис. 1. Три исследуемых момента периода горения анода

ленном токе 1000 А. Амплитуда анодного тока была также близка к этому значению.

Исследуемая часть положительного столба, ограниченная манжетой анода, имела диаметр, равный 195, и длину — 300 мм. Температура воды, охлаждающей выпрямитель, при всех опытах была одна и та же — входящая вода имела температуру 10° С, вытекающая — 28° С. Этот режим был очень близок к такому, при котором наступает разрыв дуги. Так, при увеличении тока на 200 А или при уменьшении температуры воды на 2° С появлялись разрывы дуги и связанные с ними перенапряжения на трансформаторе.

Результаты измерений. Распределение потенциала было первоначально определено для четырех конструкций анода (I—IV), представленных на рис. 2, которые позволили выяснить влияние деионизирующей сетки и манжеты на распределение потенциала и изменение его за время горения.

Характерные полулогарифмические кривые, полученные из осциллограмм тока и напряжения зонда, снятые для трех моментов горения, даны на рис. 3.

Характерным здесь является то, что кривые 1 и 2, снятые для существенно различных анодных токов (300 и 900 А), очень мало различаются по наклону (температура электронов) и по точке изгиба (потенциал пространства), в то время как кривая 3, соответствующая горбу в падении напряжения, существенно от них отличается.

Интересно отметить, что, несмотря на колебательный характер зондового тока в точке 3, полулогарифмические кривые для этого момента сохраняли строгую линейность.

Приведенные на рис. 4 кривые распределения потенциала для анода I (рис. 2, потенциал на управляющую сетку во время измерений не подавался), соответствующие трем моментам периода горения, показывают, что потенциалы пространства до момента горения 2 мало изменяются, но за промежуток времени от t_2 до t_3 происходит резкое изменение в распределении потенциала. Особенно сильное изменение претерпевает пространство в нижней половине манжеты, где падение потенциала изменяется от 1,5 до 12 В, в то вре-

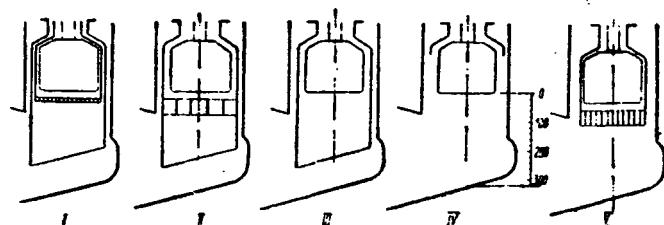


Рис. 2. Исследованные конструкции анодов

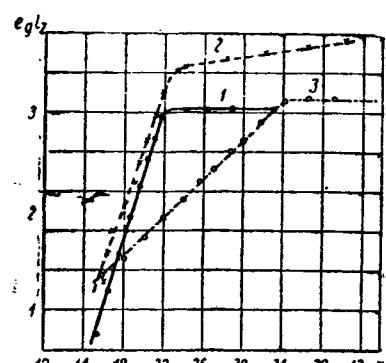


Рис. 3. Характерные полулогарифмические кривые зонда (анод I, расстояние 70 mm)

¹ „Электричество“ № 7, 1937 г. В. И. Дроздов и И. М. Кенин, Падение в дуге металлического ртутного выпрямителя.

² Lewi Tonks, „Electrochemical Society“, 1937.

³ „Электричество“ № 7, 1937 г. В. И. Дроздов, Н. Н. Петухов и И. М. Кенин, Распределение потенциала в дуге металлического ртутного выпрямителя.

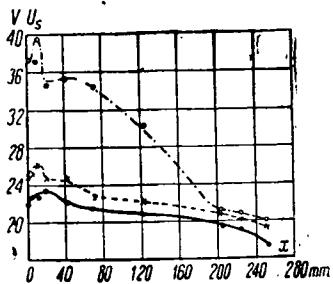


Рис. 4. Кривые распределения потенциала для анода I (рис. 3)

мя как на верхней половине изменение падения потенциала значительно меньше — от 3 до 5 V.

Анод II отличается от анода I только тем, что у него сеточная манжета и сетка заменены нормальным фильтром.

Однако если изменение во времени градиента потенциала при входе в манжету того же порядка, то в остальной части это изменение значительно меньше. Это различие вызвано отсутствием в данном опыте второй манжеты и густой сетки.

На рис. 5 показаны кривые распределения потенциала для анодов с дальнейшим уменьшением экранировки: для конструкции III без фильтра и анода IV совершенно открытого.

Следует отметить, что нормальный фильтр не вносит существенного изменения в распределении потенциала. Устранение же манжеты совершенно изменяет всю картину распределения потенциала, что видно из сравнения кривых рис. 5, однако наибольшие падения потенциала возникают опять в сужении дуги, при входе в анодный рукав (70 mm от анода).

На рис. 6 показано распределение температуры электронов по оси разряда, для трех исследуемых моментов времени горения анода III. Для остальных двух анодов с манжетой (аноды I и II) не приведенные здесь кривые $T_e = f(x)$ имели тот же характер, однако в распределении температуры электронов для анода I наблюдался второй максимум вблизи от анода, вызванный присутствием густой сетки.

Для конструкции IV в распределении температуры электронов появлялся небольшой максимум при сужении дуги рукавом.

Изложенный экспериментальный материал достаточно убедительно показывает, что наибольшее изменение во время горения претерпевает та область положительного столба,

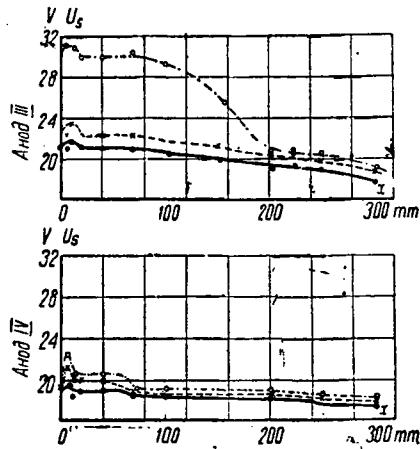


Рис. 5. Кривые распределения потенциала для анодов III и IV

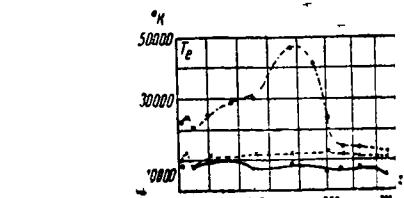


Рис. 6. Кривые распределения температур электронов для анода III

которая заключена в нижней половине манжеты, так как именно в этом месте происходят наибольшие изменения во времени градиента потенциала и температуры электронов. Для проверки этого заключения был исследован анод V с укороченной манжетой (рис. 2). Защита анода осуществлялась весьма густым фильтром, размеры которого были выбраны на основании еще не опубликованных опытов по выяснению вероятности обратных зажиганий.

В кривой распределения потенциала для этой конструкции (рис. 7), как и для ранее рассмотренных, появляются большие градиенты в том месте, где дуга сужается манжетой. Чрезмерно большая величина градиента потенциала (~ 1.5 V/cm) объясняется тем, что в начале манжеты имеется густой фильтр. В части положительного столба, лежащей ниже манжеты, изменение потенциала ничтожно. На том же рисунке показано распределение температуры электронов. Кривые показывают, что наибольшие изменения температура претерпевает также при входе в манжету и фильтр.

Отличительной особенностью конструкции V является также изменение градиента потенциала в манжете в течение периода горения — от 1,2 до 1,8 V/cm, т. е. в полтора раза, в то время как в первых трех конструкциях градиент потенциала изменяется от 0,1 до 1,1 V/cm, т. е. в 10 раз.

На рис. 8 даны сравнительные кривые градиента потенциала для всех пяти анодов. Из рис. 8 видно, что для всех анодов с длинной манжетой (аноды I, II и III) в нижней части происходит резкое увеличение градиента потенциала во второй половине периода горения, приводящее к чрезмерному возрастанию интегрального падения в дуге и ее разрыву. Для конструкций IV и V градиент потенциала в точке $x = 150$ mm близок к нулю во все время горения.

Следует отметить, что, несмотря на большую величину градиента потенциала анода V в точке $x = 50$, его изменение со временем, наибольшее из всех по длине столба, все же невелико и имеет линейный характер. Это позволяет сделать заключение (подтверждаемое наблюдениями), что конструкция V подвержена разрывам дуги и перенапряжениям в меньшей степени, чем конструкции с длинной манжетой.

Необходимо иметь в виду, что конструкции прутового выпрямителя должны удовлетворять определенным требованиям: возможно меньшая способность к разрывам и хорошая защита от обратных зажиганий. Этому конструкция IV, отвечающая первому требованию, является нежизненной из-за отсутствия экранировки.

Разбор экспериментального материала. Мы новили, что основным фактором разрыва является то изменение в части положительного столба, которое начинает руживаться вблизи от амплитуды анодного тока низкой температуре выпрямителя. Это изменение является в резком увеличении продольного электрического поля и температуры электронов со временем горения анода. Во второй половине периода горения анода также нарушается пропорциональность током дуги и концентрации электронов на ее концах.

Особенно резкое изменение концентрации происходит в нижней части длинной манжеты. Для анода III концентрация электронов в нижней манжете изменяется от $6 \cdot 10^{12}$ в момент 2 до 10^{13} в момент 3, несмотря на равные значения

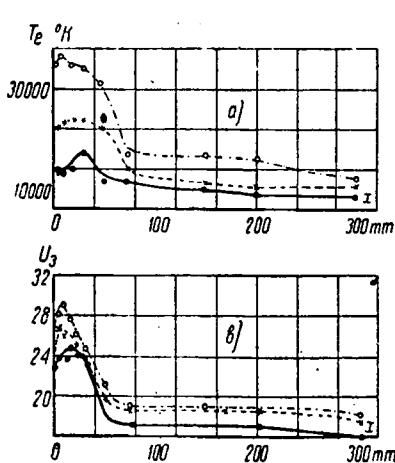


Рис. 7. Кривые распределения потенциала и температур электронов для анода V

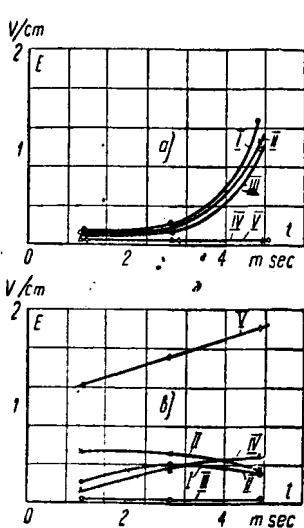


Рис. 8. Зависимость градиента потенциала от времени горения для 5 анодов: а) в точке 150 mm от анода, б) в точке 50 mm

в эти моменты. В верхней части манжеты этого анода концентрация изменялась от $5 \cdot 10^{12}$ до $4,5 \cdot 10^{12}$.

Для анода же V концентрации электронов в моменты 2 и 3 были практически равны друг другу во всех точках оси разряда. Уменьшение концентрации электронов в 7–8 раз при одновременном увеличении продольного поля в 10 раз и температуры электронов в 2 раза связано с резким уменьшением плотности газа в нижней части манжеты.

Исследуя при помощи уравнения Пуассона кривые распределения потенциала по оси положительного столба для анодов с длинной манжетой (аноды I , II и III), мы убеждаемся, что в промежутке горения дуги между моментами 2 и 3 в нижней части манжеты (сужение дуги) возникает одновременно со скачком потенциала двойной слой с отрицательным объемным зарядом, обращенным в сторону катода, и положительным объемным зарядом, обращенным к аноду. Действие этого двойного слоя заключается в том, что внутри его электроны получают ускорение по направлению к аноду, ионы же ускоряются в обратном направлении. Как те, так и другие, приобретая в двойном слое момент количества движения, будут его передавать газу на пути порядка средней длины свободного пробега. Вследствие этого в нижней части манжеты может создаться местное разрежение, которое вызывает уменьшение концентрации зарядов и увеличение продольного поля, увеличивающее в свою очередь „откаивающее“ действие двойного слоя. Очевидно, что при некоторых условиях двойной слой может быть причиной интенсивной откачки газа из нижней части длинной манжеты, следовательно, и разрыва дуги.

Оценим важность этого фактора в нашем случае. Обозначим через U_s падение потенциала в двойном слое (т. е. нижней половине манжеты), пусть m_e — масса, а e — заряд электрона; v_e — скорость электрона в продольном поле I_a — ток дуги.

Полный момент количества движения, передаваемый газу за 1 sec электронами, будет:

$$M_e = \left(\frac{2m_e U_s}{e} \right)^{\frac{1}{2}} I_a.$$

Такой же момент будет передаваться газу ионами на одной стороне двойного слоя. Деля полученную величину M_e на площадь поперечного сечения манжеты, мы получаем давление, производимое на газ снизу вверх:

$$p_1 = \frac{1}{s} \left(\frac{2m_e U_s}{e} \right)^{\frac{1}{2}} I_a.$$

Такое же давление будет оказываться на газ в направлении сверху вниз ионами, проходящими через двойной слой.

Для анода III мы имели в момент 3 следующие значения:

$$U_s = 8 \text{ V} = 8/300 \text{ cgse}; I_a = 900 \text{ A} = 2,7 \cdot 10^{12} \text{ cgse};$$

$$S = 300 \text{ см}^2;$$

откуда:

$$p_1 = \frac{1}{300} \left(\frac{2 \cdot 8}{300 \cdot 5,31 \cdot 10^{17}} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 2,7 \cdot 10^{12} = 2,85 \text{ бара} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm Hg.}$$

Это давление того же порядка, что и давление пара в корпусе выпрямителя при условиях его работы в данном опыте ($t_{kp} = 20^\circ \text{C}$). Поэтому является вполне вероятным, что область, заключенная внутри двойного слоя, при небольшом увеличении тока дуги окажется почти полностью лишенной ртутного пара, и дуга оборвется с образованием перенапряжения.

Мы видим, таким образом, что двойной слой в нижней части длинной манжеты является таким фактором, существование которого уже вполне достаточно для объяснения разрыва дуги в металлическом ртутном выпрямителе.

Сравнивая работу анодов первых трех конструкций с работой анода V , мы видим, что двойной слой является не всегда причиной разрыва дуги, а только в том случае, если конструкция сужения способствует созданию большого разрежения внутри двойного слоя. Несомненно, что одновременно с двойным слоем будут действовать и другие факторы, лимитирующие ток дуги, как пинч-эффект и радиальный градиент давления, которые в некоторой мере будут способствовать разрыву дуги.

Следует отметить, что выражение для предельного тока при действии пинч-эффекта, приводимое L. Tonks²:

$$I_{a,np} = 6 \cdot 10^{-5} \frac{T_e^{3/2}}{\lambda_e x}$$

(где T_e — температура электронов, λ_e — средняя длина пробега электрона и x — продольное поле) не дает в условиях опыта правильных результатов. Действительно, используя значения T_e и x , например, в точке $x = 150$ mm конструкции III (рис. 5 и 6) и считая, что в условиях опыта $\lambda_e = 4$ см, мы получим для момента 2 — $I_{a,np} = 200$ A, а для момента 3 — $I_{a,np} = 120$ A. Эти значения много ниже действительно наблюдавшихся. Радиальный градиент давления будет иметь, по-видимому, второстепенное значение для всех исследованных конструкций анодов вследствие большого диаметра положительного столба.

Обратные зажигания в высоковольтных ртутных приборах низкого давления

Д. К. УАЙТ

Всесоюзный электротехнический институт

А ИСКЛЮЧЕНИЕМ единственной статьи Клемперера [1], нет в литературе данных об обратных зажиганиях в выпрямителях и родственных им приборах при напряжении выше 10–15 kV. Работа Клемперера расширила круг наших сведений до 60 kV. Вследствие скучности фактического материала возникли необоснованные представления о свойствах выпрямителей при более высоких напряжениях; эти представления повлияли и на инструкцию высоковольтных ртутных выпрямителей и на самый выбор типа приборов, подлежащих разработке для целей выпрямления высокого напряжения. Поэтому нам кажется своевременным опубликовать некоторые результаты, полученные в предварительной стадии изучения обратных зажиганий при высоком напряжении, проведенного в ВЭИ.

Исследование проводилось в стеклянной трубке, показанной на рис. 1.

Ионный ток к испытуемому электроду С можно было регулировать изменением тока на вспомогательных электродах A , D и B .

Сетку D можно передвигать вверх и вниз посредством электромагнита, как показано на рисунке, и, пользуясь ею, осуществить регулировку электрического поля и ионного тока к С. Материал электрода С — чистый аchesонский графит; электрод можно было подогревать до температуры выше 700°C посредством помещенной в нем вольфрамовой спирали. Большинство опытов производилось при температуре анода С около 550°C . Давление паров ртути контролировалось посредством водяной или масляной бани, куда была погружена катодная часть

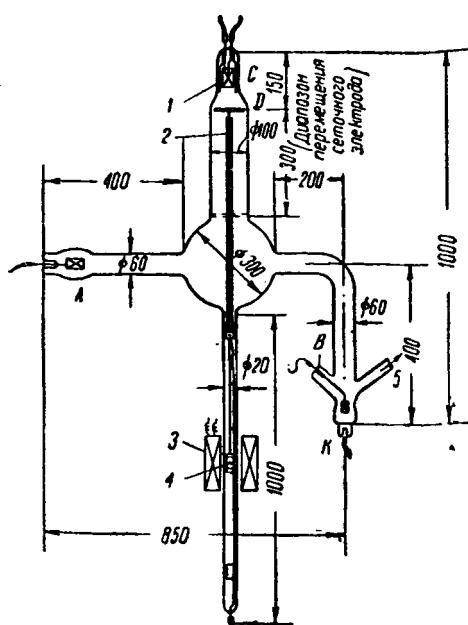


Рис. 1. Опытный ртутный выпрямитель для исследования обратных зажиганий при обратных напряжениях до 100 кВ
 А — графитовый; В — вспомогательный и С — испытуемый аноды; К — ртутный катод; Д — сеточный электрод; 1 — кварцевая рубашка; 2 — стеклянная трубка; 3 — электромагнит для передвижения стержня; 4 — железный поршень, тормозимый пружинами; 5 — трубка для откачки

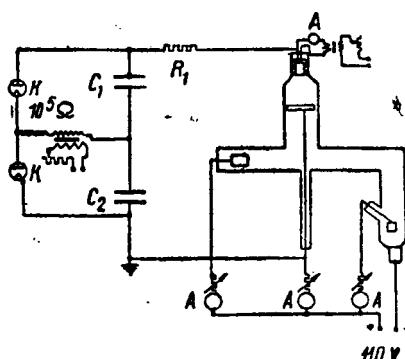


Рис. 2

трубки, и обычно соответствовало температуре жидкой фазы $-25 \div 35^\circ\text{C}$.

Основная электрическая схема показана на рис. 2. Кенотронный выпрямитель подавал на анод С высокий отрицательный потенциал по отношению к сетке. Перед началом опыта трубка и вспомогательные электроды были обезгажены нагреванием в печи и электрическим током. Испытуемый электрод был обезгажен ионной бомбардировкой при высокой температуре.

Основные экспериментальные результаты, полученные в первых опытах, сводятся к следующему.

Обратные зажигания при всех напряжениях, вплоть до самых высоких — 100 кВ, возникают через случайные промежутки времени, и не сразу после достижения известного «пробивного напряжения». Обратные зажигания могут возникать без предшествующего им видимого тлеющего разряда; ниже 60 кВ это наблюдалось часто, от 60 до 100 кВ — всегда.

При всех напряжениях, при которых наблюдалось видимое тлеющее свечение, оно могло поддерживаться длительно без перехода в обратное зажигание (за исключением тех случаев, когда напряжение цепи было значительно выше, чем потенциал горения тлеющего разряда). Наибольшее напряжение, при котором устойчивый тлеющий разряд мог наблюдаваться, было 56 кВ, при котором еще можно было поддерживать стационарный тлеющий разряд в течение 10 min без обратного зажигания. При $pd = 0,064$ [см · мм Hg] тлеющий разряд возникал при 56 кВ. Это наблюдение дает новую точку для кривой пробивных напряжений ртутного пара при низком давлении; она ложится на экстраполированную кривую Клярфельда и Гусевой [2].

Ионный ток на испытуемый электрод сильно влияет на вероятность обратного зажигания при высоком напряжении. Этот эффект будет количественно исследован позднее, но уже предварительные опыты показали существование сильной зависимости.

Вышеупомянутые результаты позволяют вывести из них известные практические заключения.

Ртутный пар не теряет своих изолирующих свойств при напряжении до 100 кВ на разрядном промежутке; следовательно, нет непреодолимых препятствий для выпрямления напряжений такой величины. При высоких напряжениях обратное зажигание может произойти без тлеющего разряда, и тлеющий разряд может иметь место без перехода в обратное зажигание. Это заключение не согласуется с результатами Клеммерера [1], возможно, потому, что в наших опытах электроды были лучше обезгажены и имели более высокую температуру. Это заключение должно быть внимательно рассмотрено всеми конструкторами, которые склонны считать, что пробой газа по закону Пашена ($p \cdot d$) тождественен с обратным зажиганием.

Случайная природа обратных зажиганий ясно показывает, что в образовании катодного пятна на испытуемом электроде играют роль другие факторы, нежели пробой газа или даже автоэлектронная эмиссия. Один из существенных факторов — это ионный ток к испытуемому электроду (так называемый «обратный ток»).

В заключение я должен отметить участие инж. В. Ригород, который при подготовке этой работы успешно преодолел трудности конструирования и изготовления установки и разрядной трубы, использованных в опытах при высоком напряжении.

Литература

1. Клеммерер, Journal of Applied Physics, May, 1938.
2. Б. Клярфельд и Л. Гусева, Ж. Т. Ф., VIII, II, 1034, 1938.

ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В ТРЕТЬЕЙ ПЯТИЛЕТКЕ

Электрификация железных дорог СССР

С. М. СЕРДИНОВ

Центральный отдел электрификации НКПС СССР

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ железных дорог СССР, вопрос о которой был поднят Владимиром Ильичем Лениным в период составления плана ГОЭЛРО, практически начала осуществляться и развились в годы сталинских пятилеток.

В 1939 г. исполняется 10 лет эксплоатации первого электрифицированного участка Москва—Мытищи Ярославской ж. д. (б. Северной ж. д.).

От небольшого электрифицированного участка длиной 18 км, смонтированного целиком из импортного оборудования под руководством иностранных специалистов, до магистралей в несколько сотен км, смонтированных полностью из советского оборудования и материалов, руками советских специалистов,—таков путь электрификации железных дорог СССР за 10 лет.

За этот период промышленностью освоено производство электрического подвижного состава и всего необходимого для электрификации оборудования и материалов. В настоящее время импорт для электрификации железных дорог прекращен.

Первые годы эксплоатации электрифицированных участков, годы освоения новой, сложной транспортной техники прошли. Данные эксплоа-

тации показывают, что электрификация полностью оправдывает себя, на целом ряде участков показатели значительно превысили то, что намечалось в проектах. Лучшие люди, стахановцы электрифицированных участков, освоили технику своего дела и показали, какие большие возможности и скрытые резервы имеет электрическая тяга.

Решение XVIII съезда ВКП(б) о развитии электрификации железных дорог в третьей пятилетке свидетельствует о том, что в системе железнодорожного транспорта электрическая тяга оправдала себя на ряде труднейших участков.

Развитие электрификации железных дорог за 10 лет. Цифровые данные, характеризующие рост и работу электрифицированных участков по годам, приведены в табл. 1.

Если принять эксплоатационные показатели второго года эксплоатации за 100%, то в 1938 г. среднесуточный пробег электровозов достиг 190%, среднесуточный пробег мотор-вагонных секций—134%, техническая скорость товарных поездов—1178%.

Особо показательным является уменьшение удельных расходов электрической энергии с 37,0

Таблица 1

Показатели	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938
Эксплоатационная длина, км	18	53	62	62	351	378	1033	1220	1632	1690
Работа электровозов в грузовом движении в млн. tkm нетто	—	—	—	—	100 205	471 886	1443 2591	3196 5500	5712 9656	6533 10900
брутто	—	—	—	—						
Работа электровозов в пассажирском движении в тыс. поездо-км	—	—	—	—	156	398	712	1676	2318	2225
Работа мотор-вагонных секций в пригородном движении в тыс. поездо-км	—	686,5	1791,3	2290	3032	4280	5330	7802	12 068	14 335
Техническая скорость товарных поездов, км/ч	—	—	—	—	20	23,3	30,3	36,8	41,4	41,5
Техническая скорость пригородных поездов, км/ч	—	44	50	49,5	48,0	47,0	48,5	53,2	52,5	52,0
Общий расход электроэнергии на тягу, млн. kWh	—	—	—	—	37,2	78,6	137,4	252,0	389,3	429,3
Удельный расход энергии, Wh/tkm	—	—	—	—	37,0	34,6	28,4	26,0	24,9	24,2
Среднесуточный пробег электровоза, км	—	—	—	—	154	211	278	373	391	400
Среднесуточный пробег мотор-вагонных секций, км	—	297	423	420	430	426	463	568	576	565

Примечание. Эксплоатационная длина дана на конец года с включением участков, находящихся во временной эксплоатации.

до 24,2 $\frac{\text{W} \cdot \text{h}}{\text{t} \cdot \text{km}}$, т. е. на 65,2% при одновременном очень большом увеличении общего количества переработанной энергии, что вызвано как упорядочением устройств энергоснабжения, так и введением правильных режимов вождения поездов.

Улучшение эксплоатационных показателей является следствием развития стахановско-кривоносского движения (повышение весовых норм, внедрение кольцевой езды, освоение техники ведения поезда, внедрение ряда рационализаторских и изобретательских предложений).

Экономия топлива на электрифицированных участках за 10 лет эксплоатации составила 1,51 млн. т условного 7000 cal топлива (за вычетом топлива, сжигаемого на тепловых электроцентралях). Если принять, что на электроцентралях сжигается в основном низкосортное топливо, то экономия высокосортного топлива достигла за этот период 2,1 млн. т.

Затраты на содержание устройств электрификации, включая эксплоатационные расходы и стоимость электрической энергии, составляли в 1937 г. (в среднем по 10 электрифицированным железным дорогам) 0,512 коп. на 1 tkm; затраты на содержание устройств паровозного хозяйства по тем же дорогам, включая стоимость топлива, — 0,78 коп., т. е. себестоимость перевозок на электрифицированных участках меньше на 0,268 коп. на 1 tkm.

Доля расходов, зависящая от рода тяги, меньше на электрифицированных участках и по сравнению с участками, находящимися на паровой тяге, в среднем по 10 электрифицированным дорогам составляет 66%, достигая 56% на Ярославской и 42% на Закавказской ж. д.

Сравнительную оценку работы электровозов и паровозов возможно сделать, сравнивая «производительность» локомотивов, выражющуюся в количестве тонно-километров брутто в год на один локомотив. По отчетным данным за 1937 г. в среднем по 7 электрифицированным участкам один электровоз заменяет 1,7 паровоза. По отдельным дорогам, как, например, по Закавказской ж. д., на перевальном участке один электровоз заменяет 3,0 паровоза, а на равнинном участке той же дороги — 2,5 паровоза.

По напряженности грузоперевозок электрифицированные железные дороги СССР стоят на первом месте в Европе.

В табл. 2 приведены основные эксплоатационные показатели по СССР и 5 странам Европы (за 1937 г.).

Таблица 2

Страны	Перевозки в млн. t/km брутто на 1 km	Расход энергии на тягу в тыс. kW/h на 1 km
СССР	9,62	238
Германия	9,31	405
Франция	6,40	168
Италия	5,66	212
Швейцария	5,43	255
Швеция	3,43	124
Среднее по Европе без СССР	6,53	220

Данные по Европейским странам взяты из доклада инж. М. Parodi, опубликованного в Genie Civil от 31 декабря 1938 г.

По отдельным электрифицированным участкам перевозки значительно превысили проектные размеры. Это оказалось возможным только за счет ломки существовавших и принятых в проектах предельских норм за счет рационального использования всех устройств электрификации.

Данные о тяговых подстанциях приведены в табл. 3.

До 1931 г. на тяговых подстанциях пригородных участков и до 1935 г. на тяговых подстанциях магистральных участков устанавливались импортные преобразователи. В течение этого периода в СССР освоено производство ртутных выпрямителей на 1650 и 3300 V и мотор-генераторов, и импорт преобразователей прекращен.

Рост перевозок, повышение скоростей и весовых норм привели к увеличению загрузки тяговых подстанций.

Загрузка мотор-генераторных подстанций несколько меньше ртутно-выпрямительных. Работа тяговых подстанций за последние 4 года характеризуется данными, приведенными в табл. 4.

Увеличение аварий и повреждений в 1937 г. произошло из-за дефектов конструкции анодов выпрямителей выпуска 1936 г., на которых имел место специфические повреждения в виде перекрытия с анодного фланца на корпус выпрямителя, из-за неудовлетворительных изоляционных свойств стяжных шпилек.

Анализируя работу тяговых подстанций, необходимо отметить неудовлетворительную работу ртутных выпрямителей на 3300 V, причем характер

Таблица 3

Годы	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	Примечание
Общая мощность подстанций в тыс. kW	5	9	11	22	45	82	141	192	233	260	
Общая мощность импортных преобразователей в тыс. kW	5	9	9	17	27	29	29	29	29	29	
Мощность подстанций магистральных ж. д.	—	—	—	8	18	46	96	136	170	186	В том числе топ-генератора
Мощность импортных преобразователей подстанций магистральных дорог	—	—	—	8	18	20	20	20	20	20	В том числе топ-генератора

Таблица 4

	Годы			
	1935	1936	1937	1938
Коэффициент загрузки ртутно-выпрямительных подстанций:				
а) средний на 1650 V	0,217	0,385	0,468	0,445
б) средний на 3300 V	0,151	0,264	0,341	0,342
в) максим. на 1650 V	—	0,43	0,54	0,79
г) максим. на 3300 V	—	0,4	0,54	0,44
Количество аварий и повреждений на 1 подстанцию в % к 1935 г.	100	52,3	114*	48,0

* Из них 39% приходится на перекрытие стяжных шпилек анодов у выпрямителей выпуска 1936 г.

терно, что выпрямители выпуска 1936 г. работают хуже выпрямителей, выпускавшихся ранее.

Работа выпрямителей характеризуется количеством обратных зажиганий на 1000 h работы (табл. 5).

Резкое увеличение числа обратных зажиганий в конце 1937 г. и в начале 1938 г. вызвано, с одной стороны, неудовлетворительным качеством работы выпрямителей выпуска 1936 г., не выдерживающих перегрузок и, с другой стороны, ухудшением эксплуатационного обслуживания на подстанциях ж. д. им. Л. М. Катановича.

Отдельно необходимо остановиться на значительной эффективности применения рекуперации на горных участках. Применение рекуперации снижает потребление энергии, получаемой от районных сетей и, что особенно важно, повышает надежность движения, уменьшает износ бандажей колес, тормозных колодок. Сравнительно незначительный процент энергии, возвращаемый обратно в питающую сеть, объясняется большой густотой движения, т. е. практически тем, что рекуперируемая энергия потребляется идущими на подъем поездами.

Эксплуатационные преимущества рекуперативного торможения настолько велики, что сейчас разрабатывается вопрос осуществления его на ряде участков, имеющих ртутно-выпрямительные подстанции с поглощением избыточной энергии специальными балластными реостатами (до освоения обратимых ртутных преобразователей).

Увеличение размеров перевозок на электрифицированных участках приводило к чрезвычайно напряженной работе контактной сети, что характеризуется цифрами табл. 6.

На наиболее нагруженном участке Москва — Мытищи в 1938 г. на 1 km контактной сети количество проходов пантографов достигло 86,8 тыс. (если смотря на возрастающую интенсивность рабо-

ты контактной сети по количеству проходов пантографов на 1 km (148% в 1938 г. по сравнению с 1935 г.), мы имеем уменьшение аварийности в 2,5 раза, что свидетельствует о значительном улучшении эксплуатации и ремонта контактной сети.

Увеличение движения привело к необходимости выполнения основных работ по ремонту и осмотру без снятия напряжения. За годы второй пятилетки на всех электрифицированных участках введено выполнение работ под напряжением со специальных дрезин и передвижных лестниц.

Основные показатели работы электрического подвижного состава приведены выше в табл. 1. В течение всех десяти лет имеет место непрерывный рост технических скоростей, среднесуточного пробега и других показателей, однако использование электровоза остается недостаточным, и приведенные показатели могут быть значительно повышены.

Первые электровозы для электрифицированного участка Закавказской ж. д. были заказаны в США и Италии и получены в 1932—1933 гг. Одновременно с этим заводом «Динамо» им. Кирова и Коломенским заводом им. Куйбышева было освоено производство электровозов сначала по образцу американских (серия Со), а затем оригинальной конструкции — серии ВЛ. В течение ряда лет электровоз серии ВЛ был единственным типом, выпускавшимся в СССР; однако вследствие отсутствия и невозможности установки на нем рекуперативного торможения, а также наличия ряда конструктивных дефектов этот электровоз не являлся серийным, и в 1938 г. выпуск этой серии был прекращен.

На основе опыта эксплуатации всех серий электровозов в 1938 г. был разработан проект и было построено несколько модернизированных электровозов нового типа серии ВЛ-22. Испытания этих

Таблица 6

	Годы			
	1935	1936	1937	1938
Количество проходов и пантографов на 1 км развернутой длины контактной сети в тыс.:				
а) среднее по сети	8,75	12,0	11,3	12,96
б) по Ярославской ж. д.	23,8	34,2	24,7*	27,0
в) по ж. д. им. Дзержинского, участка Москва—Обиравловка	17,7	29,0	38,8	38,8
Количество аварий и повреждений контактной сети на 100 km в % к 1935 г.	100	68,4	55,7	41,4

* Введен в эксплуатацию новый участок с электровозной тягой.

Таблица 5

	1935 г.				1936 г.				1937 г.				1938 г.			
	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
В на 1650 V . . .	4,5	2,23	1,3	0,58	1,18	1,73	3,1	2,8	2,12	2,9	1,4	1,44	1,8	1,6	0,32	0,4
В на 3300 V . . .	—	3,75	4,7	6,7	8,8	6,7	6,3	10,9	7,6	7,5	16,5	11,3	17,1	13,7	7,6	6,5

электровозов на ж. д. им. Л. М. Кагановича в начале 1939 г. показали, что этот электровоз после введения некоторых изменений может быть принят как серийный для третьей пятилетки.

Основные характеристики электровозов, находящихся в эксплуатации на электрифицированных участках, приведены в табл. 7.

Для электрифицированного участка Ярославской ж. д. были построены электровозы на 2 напряжения (1650 и 3300 В). Осуществление подобного типа электровозов позволило проводить дальнейшую электрификацию Ярославской ж. д. на напряжении 3300 В, что является экономически более выгодным.

Электровозы на два напряжения с автоматическим переключением при переходе с одного напряжения на другое, осуществленные у нас впервые во всем мире, в течение 2½ лет эксплуатации показали полную надежность этой системы. Применение электровозов и мотор-вагонных секций на два напряжения даст возможность проводить дальнейшую электрификацию Московского узла на напряжении 3300 В, что, как это будет указано ниже, приводит к большой экономии цветных металлов.

В эксплуатации находится также опытный пассажирский электровоз серии ПБ. Пассажирский электровоз ПБ с полым валом, колесной формулой 2—3—2 и моторами близнецами в период опытной эксплуатации, безусловно, оправдал себя, что позволяет в настоящее время перейти к серийному выпуску пассажирских электровозов. В 1938 г. выпущен опытный электровоз с двигателями мощностью 450 kW (вместо 340 kW у серийных электровозов) и мотор-вагонная секция для работы на участке при напряжении 3300 В. Освоение этих типов электроподвижного состава является еще одной победой советской промышленности.

Анализируя эксплуатацию электрического подвижного состава, необходимо отметить значительную аварийность электровозов и мотор-вагонных секций. Основными причинами этого являются неудовлетворительное качество продукции выпускавшими заводами, изготовление в некоторых случаях новых приборов или машин, недостаточно проверенных в эксплуатационных условиях, неправильная организация и низкое качество ремонтов в электродепо.

Наибольшее число аварий с повреждением приходится на следующие элементы электрического подвижного состава.

а) Тяговые двигатели электровозов и мотор-вагонных секций — пробой якорей на заднюю нажимную шайбу и пробой катушек полюсов. Причиной этих аварий является низкое качество изо-

Таблица 7

	С и Сс	ВЛ-19	ВЛ-22	СК
Колесная формула . . .	0—3+3—0	0—3+3—0	0—3+3—0	0—3+3—0
Сцепной вес, т	132*	122—124	132*	132*
Рессорное подвешивание .	В 5-ти точках	В 8-ми точках	В 5-ти точках	В 5-ти точках
Электрическая мощность .	2040	2040	2040	2040
Скорость:				
а) часовой режим . . .	31,5	36,5	31,5—36,5	36,5
б) длительный режим . .	33,0	38,0	33,0—38,0	38,0
Сила тяги:				
а) часовой режим . . .	24,0	20	24—20	20
б) длительный режим . .	20,0	17,5	20—17,5	17,5
Давление на ось, т	22	20,0	22	22
Зубчатая передача	4,45	3,74	4,45—3,74	3,74
Торможение	Рекупер.	Реостат.	Рекупер.	Рекупер.
Констр. скорость	70	85	—	85
Напряжение вспомогат. машин	1650	1650** 3300***	3300	3000

* С балластировкой.

** На электровозах первого выпуска.

*** На электровозах второго выпуска.

ляционных материалов и несоблюдение технологических процессов на заводе и в депо при ремонте.

б) Зубчатые передачи электровозов и моторных вагонов — излом зубьев. Причина неудовлетворительной работы зубчатых передач заключается в недостаточном контроле за качеством и термической обработкой.

в) Вентиляторы тяговых двигателей мотор-вагонных секций (силуминовые) — ослабление и разрушение. Повреждение вентиляторов происходит из-за конструктивных дефектов и неудовлетворительного качества.

Электрификация ж. д. в третьей пятилетке. Планом третьей пятилетки предусмотрен ввод в постоянную эксплуатацию 1840 km электрифицированных ж.-д. линий. Из этого количества в настоящее время находятся во временной эксплуатации и строительстве 971 km, таким образом, новые работы по электрификации будут развернуты на 869 km. Электрифицируется 413 km пригородных и курортных линий, 507 km грузонапряженных линий с равнинными профилями и остальные линии — с тяжелым профилем, преимущественно однопутные.

Основные показатели, характеризующие рост электрификации ж. д. в третьей пятилетке, приведены в табл. 8.

Таблица 8

	В % к 1937 г.
Эксплоатационная длина	177
Количество электровозов	225
Количество мот.-вагонных секций . . .	283
Количество тяговых подстанций	227
Общий расход электроэнергии на тягу поездов	327
Удельный расход энергии	92,5
Общая работа электрифицированных участков, брутто	352
Техническая скорость электровозов . . .	121
Техническая скорость мот. вагонов . . .	105
Среднесуточный пробег электровозов . . .	132

Экономия топлива на всех электрифицированных участках ж. д. в 1943 г. составит 1,8 млн. т. В основном сооружение новых электрифицированных линий будет развернуто на Урале, Закавказье (электрификация смежных участков), Московском, Ленинградском и Киевском узлах. В Московском узле, помимо электрификации участков с пригородным движением, будут электрифицированы и наиболее грузонапряженные участки с переводом всего движения на электровозную тягу в пределах тягового плеча.

В третьей пятилетке, помимо сооружения новых электрифицированных участков, большое внимание обращается на улучшение качества электрического подвижного состава, освоение новых технических более совершенных видов машин и оборудования, повышение надежности эксплуатации, механизацию ремонтных процессов.

Выбор системы тока и напряжения. Одним из важнейших вопросов является выбор системы тока и напряжения для электрификации ж. д. с учетом перспектив ее развития.

Дискуссии и отдельные работы по вопросу выбора системы тока, проводившиеся в первой и второй пятилетках, не дали данных для решения этого вопроса. Основная причина этого заключалась в том, что все работы по выбору системы тока проводились разрозненно, без единого руководства. Совершенно без всяких оснований исключалась из рассмотрения, например, система однофазного тока пониженной частоты (16 2/3, 25 Hz). Система однофазного тока 50 Hz при всех ее оперетических преимуществах только в том случае может быть принята, если ее введение не побудует кабелирования линий связи и коренного реустройства автоблокировки и авторегулировки, работающих на той же частоте. В действительности защита линии связи без кабелирования, защита автоблокировки и авторегулировки без перевода их на другую частоту вряд ли возможна. До разрешения этих основных вопросов, а также менее трудных по нашему мнению вопросов проектирования электровоза однофазного тока система 50 Hz не может быть применена.

Система постоянного тока 6 кВ может быть применена в случае разрешения производственных вопросов, связанных с изготовлением тяговых двигателей, вспомогательных машин и дугосящей аппаратуры на это напряжение. Попытки фирм США освоить производство машин на это напряжение с 1936 г. не увенчались успехом.

Система однофазного тока пониженной частоты требует кабелирования линий связи и устройства автоблокировки. Эта система применяется больше чем на 50% электрифицированных дорог мира, является надежной, проверенной системой и применение ее у нас в некоторых случаях может явиться целесообразным.

Городской совета рабочих, крестьян и солдат. Теоретические и экспериментальные работы в различных направлениях должны быть выполнены в течение 1939—40 гг. под руководством Академии наук СССР.

и ии наук СССР.
Ю разрешения этих вопросов электрификация
должна проводиться на постоянном токе при нап-
ряжении 3300 V. В отдельных случаях при эко-
номической выгодности возможно применение од-
нозначного тока пониженной частоты.

До настоящего времени электрификация пригородных участков проводится на напряжении 1650 V, что приводит к увеличениям затрат цветного металла по сравнению с электрификацией на 3300 V. Выбор напряжения 1650 V для пригородных участков, проводившийся в 1926—1927 гг., соответствовал технической вооруженности электрифицированных участков и промышленности того периода, так как в то время работа мотор-вагонных секций на 3300 V за границей не была достаточно проверена в условиях эксплоатации. Освоение нашей промышленностью в 1938 г. производства мотор-вагонных секций на 3300 V создает базу для продолжения электрификации пригородных участков на этом напряжении. Экономические и технические преимущества применения для пригородных участков напряжения 3300 V очевидны, и электрификация всех новых узлов (Киев, Харьков и др.) должна проводиться на напряжении 3300 V.

Значительно сложнее обстоит вопрос для Московского (и отчасти Ленинградского) узлов, где приходится учитывать действующие линии, работающие на напряжении 1650 V. Наиболее правильным и экономически выгодным является принятие варианта с применением мотор-вагонных секций на 2 напряжения (1650 и 3300 V) аналогично описанным выше электровозам, что дает возможность электрификации всех новых участков на 3300 V с возможностью «колебательного» движения на участках с разными напряжениями.

Особых технических и производственных трудностей в создании секции на два напряжения не имеется, и первая опытная секция будет смонтирована в 1939 г.

Автоматизация и дальнеуправление. Серьезное внимание должно быть уделено вопросам автоматизации и дальнеуправления, так как в этой области наблюдается исключительно большое отставание на наших электрических железных дорогах. В первой и второй пятилетках сооружались исключительно подстанции с ручным управлением, что приводило к удорожанию стоимости их и к увеличению эксплуатационных расходов.

Внимание, которое уделено в резолюции XVII съезда ВКП(б) по докладу тов. Молотова о вопросах автоматизации, заставляет особенно серьезно заняться этим делом в области электрификации. ж. д.

За границей почти на всех участках, особенно с интенсивным пассажирским движением, автоматизировано управление тяговыми подстанциями и секционированием контактной сети. Примерами новых, полностью автоматизированных линий являются участок Париж-Ле Ман (Франция), управляемый с диспетчерского пункта из Парижа, участок Лондон — Портсмут (Англия), управляемый с диспетчерского пункта в Лондоне.

Особое значение приобретает автоматизация управления всеми устройствами электрификации вместе с введением диспетчерской централизации и авторегулировки. При осуществлении этих мероприятий вместе фактически все процессы, связанные с движением, кроме самого ведения поезда, автоматизируются, безопасность и надежность движения значительно повышаются.

Необходимо отыскать исключительную медленность разработки вопросов, автоматизации и

далееуправления в НИИЖТ НКПС. Вместо формирования разработки этой важнейшей для электрификации проблемы, работы растянуты на несколько лет. НИИЖТ работает замкнуто, не использует опыта проектных организаций промышленности, опыта монтажа автоматизации на подстанциях Московского метрополитена и производственных возможностей заводов. Совершенно необходимо, чтобы НИИЖТ совместно с Комитетом автоматики и телемеханики Академии наук СССР провели все работы по выбору системы автоматизации для электрических железных дорог в течение 1939 г.

Энергоснабжение электрических ж. д. Серьезным вопросом является энергоснабжение электрических ж. д., что особенно лимитировало развитие электрификации во второй пятилетке. Ряд участков ж.-д. сети лимитирует пропускную способность по отдельным направлениям и электрификация их при росте грузопотоков является целесообразной, однако в большинстве случаев электрификация не может быть осуществлена из-за отсутствия энергетической базы в данном районе.

Примеры электрификации ж. д. Франции, Италии, Швеции и других стран доказывают в ряде случаев рентабельность сооружения специальных электростанций (гидро- или теплоцентралей) небольшой мощности для снабжения энергией электротяги.

В первой и второй пятилетках вследствие вредного увлечения гигантоманией в сооружении электростанций вопросу электрификации на базе собственных станций не уделялось внимания. В третьей пятилетке совершенно очевидной становится целесообразность электрификации железных дорог в ряде случаев на базе собственных электростанций.

В качестве примера могут быть указаны участок Белореченская — Туапсе и Новая Черноморская магистраль, а также некоторые участки Сибирского направления. Экономические показатели выгодности электрификации для одного из участков Сибирского направления и для участка Белореченская — Туапсе приведены ниже (по ориентировочным подсчетам).

	Белореченская — Туапсе	Участок Сибирской магистрали
Экономия топлива на 1942 г. тыс. т . . .	103	47
Увеличение пропускной способности (при электровозах серии ВЛ, %)	30	30
Эксплоатационные расходы (по сравнению с паровой тягой), % .	72	82

Особое внимание в третьей пятилетке со стороны Народного комиссариата электростанций и электропромышленности СССР должно быть обращено на улучшение качества энергии. В настоящее время в питающих сетях нередки случаи колебания напряжения вилок частоты, блоговерхенностей, сокращающих сроки простоя, где оборудование в контактной сети затруднительно.

ции, что приводит к повреждению аппаратуры и машин на электрическом подвижном составе и к нарушению слаживающего действия фильтрующих устройств.

В 1939 и 1940 гг. должны быть разработаны типовые проекты подстанции, депо, контактной сети и всех их элементов и внедрены в жизнь. Типовые проекты, кроме удешевления проектирования и строительства, дадут возможность выполнения монтажных работ скоростными методами.

Электрический подвижной состав. Основным типом товарного электровоза в третьей пятилетке остается отмеченный выше модернизированный электровоз мощностью 2040 kW. Однако для ряда электрифицированных участков потребуется введение электровоза большей мощности, так как электровозы мощностью 2040 kW не смогут обеспечить ведение одиночной тягой поездов, подводимых к электрифицированному участку паровозом 1-серии ФД (при выборе параметров существующего электровоза принимался как основной тип паровоз серии Э).

В 1939—1940 гг. будет закончен проект и выпущен опытный мощный электровоз со следующими параметрами: колесная формула — 2—3—3—2; система передачи — полый вал, сдвоенные моторы — «близнацы»; сила тяги часовая — 27000/30000; нагрузка на ось — 24/27; часовая скорость — 45—50 km; мощность часовая — 12 × 275/12 × 340 (в числителе — электровоз без балластировки, в знаменателе — с балластировкой).

Выбор основного параметра — тягового усилия — произведен с таким расчетом, что практически позволит обеспечить ведение поездов любой весовой нормы при всех профилях. Новый мощный электровоз проектируется с возможностью использования в качестве пассажирского для ведения тяжелых пассажирских поездов.

В третьей пятилетке должно быть освоено серийное производство серии ПБ. Пассажирский серийный электровоз проектируется на базе опытного электровоза ПБ, выпущенного в 1936 г. и достаточно хорошо зарекомендовавшего себя в эксплуатации. В серийном электровозе будут устранены все выявившиеся дефекты, кузову дана обтекаемая форма. Пассажирские электровозы предполагается выпускать для работы на напряжение 3300 V и на два напряжения (3300/1650 V) для линии Московского узла. В зависимости от участков, на которых будет производиться эксплуатация пассажирских электровозов, будет применяться различная зубчатая передача, что позволит наиболее эффективно пользоваться электровозом. Максимальная скорость будет提高ена до 140 km/h. Электровозы серий ПБ предназначены для обслуживания скорых и курьерских поездов.

Вопрос маневровых локомотивов для электрифицированных участков и их параметров еще не разрешен. Помимо маневровых электровозов с питанием от контактного провода для работы на станциях, где все пути оборудованы контактной сетью, необходимо сооружение локомотивов, способных работать независимо от контактной сети, для крупных станций, сортировочных мастерских, грузовых пристаней, где оборудование контактной сетью затруднительно.

Наиболее целесообразно принять в качестве подобного локомотива тепловоз (или газовоз), имеющий одновременно оборудование для возможности питания от сети. Маневровые локомотивы такого типа широко распространены в США для обслуживания узлов и подъездных ветвей. Выпускаемые в настоящее время мотор-вагонные секции как по своим техническим данным, так и по внешнему оформлению значительно устарели, и в третьей пятилетке должен быть осуществлен переход на новые типы подвижного состава. Основными требованиями, которые должны быть предъявлены новому подвижному составу мотор-вагонной тяги, являются: повышение скоростей, уменьшение веса путем применения легированных и слабо легированных сталей, улучшение вентиляции, применение кондиционирования воздуха, максимальный комфорт и удобства для пассажиров. В соответствии с этими требованиями секции проектируются обтекаемого типа, с значительно улучшенной внешней и внутренней отделкой.

В третьей пятилетке будет создана заводская база для ремонта электрического подвижного состава Московского и Ленинградского узлов, на которой будет производиться капитальный средний ремонт электровозов и мотор-вагонных секций и изготовление запасных частей.

Тяговые подстанции. В третьей пятилетке значительно изменяются тяговые подстанции за счет изменения новых типов оборудования, автоматизации и дальнеуправления.

Основным типом преобразователя для всех подстанций будут ртутные преобразователи. Промышленностью в течение 1939 и 1940 гг. должны быть освоены ртутные преобразователи с возможностью рекуперации энергии и ртутные преобразователи с управляемыми сетками для регулирования напряжения и защиты от обратных зажиганий. Нужно указать, что вопрос освоения выпрямителей с управляемыми сетками недолгимо затянулся, так как эти выпрямители завод «Электросила» обязан был освоить еще в 1935 г. конструкцию выпрямителей необходимо коренным образом пересмотреть для обеспечения работы без обратных зажиганий.

Необходимо широко развернуть исследовательскую работу по ртутным преобразователям в части перехода на преобразователи без водяного охлаждения, без вакуумных насосов (аналогично следним типам преобразователей AEG и BBC), изменения стеклянных выпрямителей, игнайтров и пр.

Промышленность СССР по производству ртутных преобразователей, широко применяемых на транспорте и в других отраслях народного хозяйства, должна и может занять ведущее место в мире.

Производимое в настоящее время электротехническое оборудование для подстанций значительно устарело: необходимо срочное освоение производства трансформаторов с переключением под нагрузкой, выключателей с малым объемом масла, специальных стреляющих предохранителей,

конденсаторов с соволовым наполнением и пр.

Значительная потребность ощущается в «бронированных» распределительных устройствах. Особо большое значение имеет организация производства мелких деталей и приборов (наборные клеммы, ответвительные коробки, предохранители, рубильники и пр.). В настоящее время все эти детали производятся кустарно и часто тормозят выполнение монтажных работ.

По специальному оборудованию тяговых подстанций должны производиться — устройства для сглаживания пульсаций ртутных выпрямителей как при наличии управляющих сеток, так и без них, быстродействующие выключатели, электрические вакуумметры и электрические приборы.

Необходимо добиться коренного улучшения качества и внешнего вида приборов, аппаратов и деталей.

Контактная сеть. В третьей пятилетке необходимо обеспечить повышение надежности работы контактной сети, осуществление скоростной подвески и экономии цветных и черных металлов.

Электрификация к 1942 г. ряда участков большого протяжения с значительным пассажирским движением, использованием скоростных мотор-вагонных секций и пассажирских электровозов серии ПБ будет возможна только при изменении существующей конструкции контактной сети для обеспечения надежного токоснимания при скоростях до 200 км/ч.

В 1939 г. в НИИЖТ НКПС заканчивается разработка конструкции скоростной подвески, которую необходимо в 1940 г. испытать и в дальнейшем применять на электрифицированных участках.

Второй серьезной задачей является уменьшение расхода цветного металла на износ пантографных накладок и контактного провода. Потери в цветном металле по этой причине выражаются десятками тонн меди в год. Уменьшение износа может быть достигнуто применением графитовых или меднографитовых накладок для пантографов, повышением качества контактного провода (кадмированный провод и пр.) и улучшением конструкции пантографов для уменьшения подгаров.

Необходимо произвести облегчение конструкции опор контактной сети, пересмотреть запасы прочности, широко применить для изготовления опор центробежный и литой бетон. Серьезной задачей является вопрос механизации монтажа контактной сети, что имеет значение в связи с необходимостью сокращения времени закрытия перегонов при выполнении монтажных работ.

Основой выполнения и перевыполнения плана электрификации железных дорог в третьей пятилетке является развитие стахановско-кривоносского движения, широкое применение рационализаторских и изобретательских предложений, подготовка, повышение квалификации и выдвижение кадров.

Выполнение и перевыполнение плана третьей пятилетки обеспечит превращение электрических железных дорог в передовую отрасль транспорта нашей великой железнодорожной державы.

О некоторых задачах электрификации железных дорог СССР

П. А. СВЕТЛОВ

Секция транспорта Академии наук СССР

ТРЕТЬИМ пятилетним планом развития народного хозяйства СССР предусмотрена электрификация 1840 км железных дорог, в первую очередь горных дорог, линий, имеющих напряженные размеры грузооборота, а также крупнейших узлов с интенсивным пригородным движением.

Третий пятилетний план предусматривает значительное увеличение электрификации железных дорог по сравнению с тем, что было электрифицировано за две предыдущих пятилетки. Но мы должны готовиться к неизмеримо большим масштабам электрификации железных дорог в последующие фазы развития социалистического народного хозяйства.

В научно-технических кругах в течение многих лет идет дискуссия относительно того, какой род электрического тока и какая из систем должны быть приняты для электрификации тяги на железных дорогах Советского Союза. Нет слов, предмет дискуссии имеет народнохозяйственное значение. Следует отметить, что и некоторые капиталистические страны переходят на другие системы от систем, ранее принятых ими для электрификации своих железных дорог.

Однако дискуссия о роде электрического тока и о системах тяги в самом начале получила неправильное направление и, кроме того, неверно поставила перед собой задачу. В чем состоит неправильность направления дискуссии? Прежде всего в том, что за свое основание дискуссия приняла то, что должно было быть обосновано ею. Дискуссия исходила из априорного решения, что электрификация железных дорог в Советском Союзе должна осуществляться только на одном роде электрического тока и на одной системе электрической тяги. Географические, техно-экономические, в особенности же энергетические условия для электрификации железных дорог на громадных пространствах Советского Союза настолько различны, что они не могут не иметь иногда даже решающего значения в выборе рода тока и систем электрической тяги, и не исключена целесообразность равноценного существования в стране двух различных систем электротяги.

Далее, дискуссия о системах электрической тяги также ориентировалась на электрификацию железных дорог только от электроцентралий, исключив из своего рассмотрения возможность электрификации железных дорог на базе местных энергетических ресурсов. Эту возможность следовало выявить в первую очередь по отношению к железным дорогам, работающим на топливе, привозимом за 1000 и более км, и к дорогам с большими грузопотоками, в непосредственной близости которых имеются неиспользованные энергетические ресурсы: торф, угли, сланцы, гидроэнергия, древесина. А между тем на базе этих ресурсов могут быть построены небольшие и

средние электрические станции для энергоснабжения электрифицированных железных дорог, ч наряду с энергоснабжением дорог от крупных электроцентралий явится существенным фактором в общем энергобалансе страны.

Все эти моменты в дискуссии о системах тяги роде электрического тока не были учтены, и дискуссия ограничилась областью абстрактных суждений технических средств электрификации железных дорог.

Потребление угля железными дорогами Советского Союза составляет огромную долю от потребления угля всей страны, причем большая часть идет на тягу и на перевозку самого угля, доставляемого из центральных угольных бассейнов страны.

Третий пятилетний план предусматривает круглое шахтное строительство для промышленной добычи местных углей. В связи с этим должна быть радикально пересмотрены основные положения энергоснабжения железных дорог, являющихся самым крупным потребителем топливных ресурсов в стране. Одним из эффективных способов использования местных топливных ресурсов может явиться электрификация железных дорог на их базе. Нужно иметь в виду, что скжигание местных углей непосредственно в локомотивах может представлять в некоторых случаях большие затруднения и что коэффициент использования топлива (особенно низкосортного) в локомотивах значительно ниже стационарных установок. Электрификация железных дорог на базе местных ресурсов будет особо эффективной, если учтет что при этом открывается путь к комплексному использованию на транспорте всех местных энергетических ресурсов: угля, торфа, гидроэнергии и т. д.

При электрификации железных дорог на базе местных энергетических ресурсов возможно включение такого звена, как линии электропередачи. Исключение же из системы электрической тяги линий электропередач, работающих при напряжении в сотни киловольт, радикально упрощает систему, делает их более надежными и может снизить расход цветных металлов на электрификацию железных дорог.

Но, решая вопросы электрификации железных дорог, нельзя забывать того, что магистральные дороги пролегают через населенные места страны, через поля социалистического земледелия, и применение электричества будет радикально способствовать повышению производственной культуры и уничтожению противоположности между городом и деревней, между промышленным земледелием, созданной капитализмом. Поэтому, электрификацию железных дорог можно только нельзя отрывать от электрификации окружающих районов, но ее надо рассмотреть

один из путей внедрения электрической энергии в сельское хозяйство и в быт колхозного крестьянства.

В частности, вряд ли при этих условиях можно считать правильной тенденцию к удлинению расстояний между тяговыми подстанциями, так как совмещение энергопитания участка электрической железной дороги и сельскохозяйственного района от одной подстанции вполне осуществимо. При современном состоянии автоматики и телемеханики увеличение числа подстанций не только не повысит эксплуатационных расходов, но и создаст благоприятные условия для повышения степеней надежности энергоснабжения электрифицированных железных дорог.

Рациональное размещение местных электрических станций и тяговых подстанций должно заключаться в комплексном обеспечении возможно большего числа народнохозяйственных задач данного района, а не только в удовлетворении требований, относящихся собственно к электрификации железных дорог.

При этом должно быть предусмотрено использование отработанного пара тепловых электрических станций для снабжения теплом деповского хозяйства железнодорожных узлов, совхозов, колхозов и т. п.

Можно отметить, что электрификация железных дорог на базе местных электрических станций создаст благоприятные условия для развития радиофикиации страны, так как одной из причин ограничения распространения приемных радиоустановок на периферии нередко является отсутствие источников электроэнергии для питания установок.

При электрификации железных дорог от электроцентралей имеется также немало задач, ждущих своего разрешения. Так например, тенденция к увеличению расстояния между тяговыми подстанциями при электрификации железных дорог от высоковольтных линий передач электроцентралей вызвана желанием снизить затраты на электрификацию железных дорог путем уменьшения числа понизительных подстанций, стоимость которых практически не меняется от мощности подстанций, но в основном определяется высокой стоимостью масляных выключателей. Замена масляных выключателей другими, более дешевыми и совершенными аппаратами (безмасляными выключателями) может радикально облегчить задачу строительства и размещения тяговых подстанций.

Кроме того, должны быть улучшены схемы защиты систем от токов к. з. в направлении ущемления средств защиты, повышения качества электрического оборудования и аппаратуры, которые нередко бывают самими причинами возникновения к. з. вследствие низкого качества изготовления и нерациональности конструкций.

Нельзя принять решение о выборе той или иной системы электрической тяги, не обследовав смежных областей техники и народного хозяйства. Так например, помехи от устройств электрических железных дорог в линиях телеграфной и телефонной связи настолько значительны, что при некоторых условиях работа связи становится

практически невозможной и небезопасной для обслуживающего персонала. Этот факт общеизвестен всем электротехникам, работающим в области электрической связи, но значение его, повидимому, недостаточно оценено электротехниками электротяговой промышленности.

А между тем вопросы защиты линии электрической связи от помех электрических железных дорог в настоящее время настолько существенны, что они заставляют отказываться от больших преимуществ тех или других систем электрической тяги. Для успешной работы по устранению помех в линиях связи электротехники, занимающиеся конструированием и производством электротяговых устройств, должны исчерпывающе знать количественную и качественную стороны всех явлений, связанных с помехами.

Сказанное об электрической связи целиком относится к сигнализации, централизации и блокировке на железных дорогах. Надо заметить что и эта группа вопросов дискуссией также не была достаточно освещена. Научно-исследовательские организации электрической связи и электротяговой промышленности должны свои работы вести в полном контакте и это создаст необходимые предпосылки к разрешению многих смежных вопросов.

Сложность эксплуатации электрического оборудования подвижного состава электрических железных дорог, сложность физических процессов, которые постоянно находятся в фазе неустановившихся режимов, предъявляют к этому оборудованию высокие требования. Вот почему должны быть поставлены на большую высоту вопросы технической культуры в электротяговой промышленности.

Говоря о технической культуре в электротяговой промышленности, мы прежде всего имеем в виду культуру экспериментальных работ. Необходимо сказать, что экспериментальные работы не пользуются в электротяговой промышленности тем вниманием, которого они заслуживают. Не думает ли кое-кто, что вопросы технической культуры можно решать без смелого научно-обоснованного эксперимента? Для того чтобы составить впечатление о том, как относятся к вопросам эксперимента в электро-тяговой промышленности, укажем, например, на то, что образец электровоза с ртутно-выпрямительной установкой, выполнявшийся заводом «Динамо» им. Кирова в течение почти 5 лет, не испытан до сих пор. Не менее ярким примером может служить и тот факт, что проектирование и постройка лабораторных моделей двигателей по схеме д-ра Бенедикта (завод «Динамо»), и по схеме инж. Шильдинера (ВЭИ) также велись несколько лет, а качество изготовленных моделей говорит о весьма неряшливом отношении к экспериментальному строительству машин, чем создаются условия, при которых самые рациональные технические идеи могут быть дискредитированы.

Вот почему нельзя серьезно говорить о техническом прогрессе в электротяговой промышленности, оставляя вне поля внимания экспериментальные работы.

О работах по однофазному двигателю 50 Hz для электрических железных дорог

Б. Н. ШИРОКОГОРОВ

Секция транспорта Академии наук СССР

В ИЮНЕ 1939 г. исполняется десятилетие со дня открытия на ж.-д. транспорте СССР первой электрической дороги. За это время наша промышленность полностью освоила производство всех элементов оборудования электрических железных дорог и подвижного состава. Развернувшись в Союзе и научно-исследовательская работа по вопросам электрической тяги. Но было бы неверным утверждение, что в этой области у нас все обстоит благополучно.

Остается еще большое количество крупных вопросов, на которые наш электрифицированный ж.-д. транспорт настоятельно ждет ответа.

Сюда относятся вопросы качества элементов оборудования электрических железных дорог (рутных выпрямителей, тяговых двигателей, вспомогательных машин и аппаратов), организации и ремонта подвижного состава, обеспечения комфорта и максимального удобства для пассажиров в пригородном движении, правильной организации движения. Большого внимания к себе требует постановка правильного учета расхода электроэнергии на электрических железных дорогах, разработка и внедрение мероприятий по снижению удельных расходов энергии. Неразрешенными пока остаются также вопросы полной автоматизации управления тяговыми подстанциями и контактной сетью и некоторые другие серьезные задачи. Из крупных комплексных задач в области электрической тяги наиболее важной для всего дела электрификации ж.-д. транспорта СССР является вопрос выбора системы тока и напряжения.

Изучению систем электрической тяги для железных дорог СССР впервые посвятила свои работы специальная комиссия НКПС, проводившая исследования под руководством проф. С. И. Курбатова. Несмотря на большой объем выполненных работ, комиссия не пришла, однако, к окончательному решению и наметила лишь дальнейшее направление исследований в этом вопросе, признав необходимым текущие работы по электрификации железных дорог осуществлять на постоянном токе при напряжении 3000 V.

Такое решение 1932—1933 гг. следует признать вполне естественным, так как мы в то время еще не имели своего сколько-нибудь значительного опыта электрификации ж.-д. транспорта, а научно-исследовательская работа в этой области находилась в самом зачаточном состоянии.

Работы Академии наук СССР по этим вопросам, начавшиеся с 1936 г., показали, что и электроснабжение тяговых подстанций со стороны первичной высоковольтной сети и, в особенности, обеспечение надежной работы связи, электрической сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) являются весьма серьезными вопросами.

Эти работы показали также, что проблема сравнения системы электрической тяги состоит из трех основных слагаемых: проблемы подвижного состава, проблемы связи и СЦБ и проблемы увязки системы электрической тяги с работой первичной энергоснабжающей сети.

В итоге произведенных исследований бригада электрификации транспорта АН СССР пришла к следующим предварительным положениям:

1. В результате сравнения существующей системы постоянного тока 3 kV с возможными прогрессивными системами однофазного тока 50 Hz 22 kV и постоянным током 6 kV были установлены следующие ориентировочные соотношения в величине капиталовложений: постоянный ток 3 kV — 100%, постоянный ток 6 kV — 85%, однофазный ток 50 Hz 22 kV — 75%. Однако дальнейший технический анализ указал на то, что при системе однофазного тока следует ожидать значительного повышения капитальных затрат и приближения их к затратам при системе постоянного тока 6 kV. Это удорожание однофазной системы должно произойти ввиду сложности мероприятий по защите связи и СЦБ от мешающего и опасного действия тяговых токов. Уточнение этих вопросов должно быть выполнено в течение 1939 г.

2. Экономия цветного металла в средних условиях нашей ж.-д. сети при переходе от постоянного тока 3 kV на постоянный 6 kV, или на однофазный 50 Hz, 20 kV может получиться по сравнению с постоянным током 3 kV в пределах от 42,5% — при постоянном токе 6 kV и до 49% — при однофазном токе.

3. Ожидать существенной разницы в стоимости эксплоатации при сравниваемых системах — не серьезных оснований.

В свете этих требований и выводов огромную важность приобретают исследования, касающиеся вопросов подвижного состава, так как надежность системы тяги в целом в первую очередь зависит от надежной работы подвижного состава. Из числа трех рассматриваемых систем тяги только система постоянного тока 3 kV является серьезно изученной в нашей и заграничной практике. Поэтому является вполне закономерным на данном этапе направлять исследовательскую и конструкторскую мысль на изучение тяговых двигателей однофазного тока 50 Hz и постоянного 6 kV, тем более, что в соответствующих конкретных условиях нашей обширной страны обе эти системы электрической тяги могут найти свое применение.

Мировая практика электрификации железных дорог и выполненные у нас и за границей исследования намечают следующие возможные решения для подвижного состава при системе од-

фазного тока 50 Hz: мотор-генераторный электровоз, электровоз системы расщепленной фазы (Кандо или системы Вестингауза), электровоз с преобразователем в виде ртутного выпрямителя, электровоз с коллекторными двигателями на 50 Hz, электровоз с индукционными двигателями (Пунга-Шён или конденсаторными).

Из этого перечня возможных машин определенный интерес должен представлять собой электровоз с коллекторными двигателями, хотя бы ввиду того, что он не имеет преобразователя. Помимо того, сама тяговая характеристика этого электровоза, имеющая серийный вид, является общепризнанным преимуществом этой машины. Все прочие перечисленные выше типы электровозов, обладая отдельными преимуществами, одновременно обладают теми или иными существенными недостатками или в смысле большого веса, затраты цветного металла и высокой стоимости (например, мотор-генераторный электровоз), при пониженном к. п. д.; некоторые имеют неблагоприятные тяговые характеристики (электровозы с индукционными двигателями, включая системы расщепленной фазы). Некоторые имеют невысокий предел мощности электровоза (Кандо) или крайне тяжело отзываются на работе установок связи (ртутно-выпрямительный электровоз), имея одновременно и невысокий $\cos \varphi$. Существенными недостатками коллекторных двигателей однофазного тока, как известно, являются: их малый коэффициент мощности при пуске и тяжелые условия коммутации, происходящие ввиду наличия значительной по величине трансформаторной э. д. с. в коммутирующейся секции обмотки двигателя.

Однако электровоз с коллекторными двигателями, как сказано выше, должен быть наиболее простым и дешевым в эксплуатации, что подтверждается длительным опытом эксплуатации таких машин в системе однофазного тока пониженной частоты, весьма распространенной в Европе (Германия, Швеция, Швейцария) и США.

Из всего изложенного понятно значение тех работ, которые выполнялись в течение последних лет на заводе «Динамо» им. Кирова (предложение д-ра О. В. Бенедикта) и в ВЭИ (схема электровоза с коллекторными двигателями и пуском на постоянном токе, предложенная инж. Л. М. Шильдинером), и которые поставили своей задачей — решение для оптимального по общим показателям типа однофазного электровоза стандартной частоты.

Помянутые авторы избрали каждый оригинальные пути решения проблемы электровоза. д-р О. В. Бенедикт подошел к решению этой задачи путем создания двигателя специальной конструкции, инж. Л. М. Шильдинер предложил использовать коллекторный двигатель нормального а, но питать его в период пуска до скорости ω постоянным током от вспомогательного генератора, т. е. проходить наиболее трудный для двигателя в отношении коммутации и коэффициента мощности период работы при нулевой частоте питающего тока.

Надежность этих идей может быть доказана по путем тщательной экспериментальной промышленности соответствующих образцов двигателей однофазного тока.

Для этой цели заводом «Динамо» им. Кирова была сооружена модель двигателя Бенедикта, испытание которой должно было подтвердить правильность разработанной им теории. Соответствующая опытная установка по схеме, предложенной Л. М. Шильдинером, была в 1938 г. закончена в лабораториях ВЭИ.

Однако обе эти установки оставляют желать много лучшего в смысле качества своего исполнения; поэтому расчеты авторов на то, что им удастся полностью подтвердить на этих установках все свои теоретические предложения, на деле пока не оправдались. Например, некоторые характеристики двигателя Бенедикта, от которых особенно зависит качество работы его в эксплуатации, не могли быть пока проверены. Сюда относится весь процесс коммутации (вследствие неудовлетворительного изготовления модели), вопросы нагревания машины (что было невозможно выполнить на модели в силу особенностей ее предварительной конструкции). Тем не менее полученные данные позволяют считать, что предложенный двигатель представляет интерес, ввиду чего завод «Динамо» им. Кирова приступил к проектированию по этой системе опытного образца нормального тягового двигателя, габариты которого должны удовлетворительно вписаться в механическую часть проектируемого нового мощного электровоза. В целях сравнения проектируемой машины с коллекторным двигателем обычного типа заводом был выполнен параллельно проверочный расчет коллекторного однофазного двигателя на 50 Hz по типу Сименса. Все эти материалы и были представлены заводом «Динамо» им. Кирова для рассмотрения на экспертизу в секцию транспорта АН Академии наук СССР.

Что касается опытной установки ВЭИ, выполненной по схеме инж. Л. М. Шильдинера, то качество ее выполнения таково, что ее пока не удалось еще испытать в связи с необходимостью произвести значительные переделки в опытном двигателе. Со стороны ВЭИ на рассмотрение экспертизы были представлены лишь предварительные расчетные данные по этому предложению.

После детального ознакомления экспертизы секции транспорта АН СССР (в составе членов-корреспондентов АН СССР проф. М. П. Костенко и проф. А. Б. Лебедева) со всеми материалами, предъявленными к рассмотрению, 23 февраля 1939 г. состоялось расширенное совещание бригады электрификации транспорта этой секции, на котором были обсуждены итоги всей выполненной в данной области работы. Одновременно совещание заслушало также и заключение по этому вопросу экспертной комиссии ВЭИ, проведенной месяцем ранее.

Мнение экспертной комиссии ВЭИ сводится к следующему.

По двигателю д-ра О. В. Бенедикта. Проект опытной модели двигателя не был достаточно продуман; модель выполнена весьма небрежно, в связи с чем ряд важных исследований на ней не мог быть поставлен (в частности, проверка коммутации). Экспертиза ВЭИ считает, что опытная модель не дает возможности судить о свойствах приведенно проектированной тяговой машины такого типа. Однако экспертиза признала,

что ряд теоретических положений двигателя подтвержден выполненными расчетами и экспериментами: высокий и в значительном диапазоне скоростей емкостный $\cos \varphi$, несколько больший против обычного двигателя к. п. д. и др.

Наряду с этим отмечены следующие недостатки: большие габариты двигателя; повышенный вес активных материалов (за исключением коллектора); увеличение тока двигателя (а следовательно уменьшение мощности его) при малых скоростях движения.

По схеме инж. Л. М. Шильдинера, Преимущества по сравнению с обычным двигателем: пуск на постоянном токе, обеспечивающий надежную коммутацию; более высокий коэффициент мощности; примерно в 2 раза меньший рабочий и пусковой токи; возможность влить большую мощность в те же габариты. Недостатки схемы: наличие пускового агрегата из специальных машин и аппаратуры, более тяжелые условия коммутации при работе.

Не считая, однако, полученные результаты достаточными для окончательного суждения, экспертиза указывает, что она пока не может еще рекомендовать ни одну из предложенных схем и настаивает на окончании прежде всего всех необходимых экспериментов в лабораторных условиях. Кроме того, экспертиза считает целесообразным дополнительно доработать ряд узловых вопросов этих новых систем машин прежде, чем приступить к изготовлению опытных промышленных образцов этих двигателей.

Вместе с тем экспертиза ВЭИ указала на желательность постройки и испытания в 1939 г. опытного промышленного образца нормального серийного коллекторного двигателя на 50 Hz, как уже проверенного на практике за границей (электровоз Сименса на Hollentalbahn).

Экспертиза Академии наук СССР отметила, что данные, представленные ей по предложению инж. Л. М. Шильдинера, недостаточны для окончательного суждения об этой схеме. Поэтому, признавая идею инж. Шильдинера принципиально заслуживающей внимания, она высказала пожелание о продолжении экспериментов на опытной установке в ВЭИ, а также об эскизной разработке всех элементов электровоза по этой схеме для получения необходимых материалов для суждения.

По предложению д-ра О. В. Бенедикта было представлено два заключения: проф. М. П. Костенко и проф. А. Б. Лебедева. Проф. Костенко в своей оценке предложения исходил из обще-теоретических позиций безотносительно к применению этой машины в качестве тягового двигателя. Наоборот, проф. А. Б. Лебедев подошел к оценке машины именно с тяговой точки зрения.

Не излагая здесь всех данных этих заключений, отметим главнейшие их выводы.

Проф. Костенко признает новизну предложения и все те положительные стороны двигателя системы Бенедикта, которые отмечены экспертизой ВЭИ. Однако он отмечает, что те преимущества, которые дает двигатель Бенедикта, требуют уточнения, так как расчет обычного двигателя на 50 Hz, сделанный заводом «Динамо», не может быть признан удовлетворительным, ибо он произведен на основе нескольких иных технических

условий, исключающих возможность полного сравнения этих машин. В частности, взята различная величина небалансной э. д. с. коммутации в сравниваемых машинах, что приводит машины к различным габаритным размерам, влияет на величину коллектора и т. д. Помимо того, большим затруднением для оценки двигателя является то обстоятельство, что лабораторная модель его в силу своего плохого качества исполнения не дала возможности выполнить все намечавшиеся замеры, проверить коммутационный процесс.

Проф. Костенко считает необходимым разработку проектов двух опытных двигателей: по схеме Бенедикта и двигателя обычного типа. Эти проекты должны быть выполнены по единым техническим условиям. После разработки проектов до начала постройки двигателей полученные материалы должны быть представлены вновь экспертизе Академии наук для их окончательного просмотра и корректирования.

Второй эксперт, проф. Лебедев, отметил недостаточность принятого в проекте соотношения 1,35 между пусковым и часовыми моментами двигателя. Он настаивает на необходимости задать величину пускового момента (M_{\max}) равным 1,8 $M_{\text{ном}}$ и требует, чтобы этот момент был выдержан двигателем во всем интервале скоростей от $v = 0$ до $v = 0,9 v_n$.

Отмечая ряд неточностей в расчете, отсутствие в предъявленном материале характеристик двигателя системы Бенедикта, проф. Лебедев подчеркивает отрицательное свойство этого двигателя как тягового, заключающееся в повышении нагрузочного тока машины при понижении скорости. Соглашаясь с заключением проф. Костенко, что на основе представленных материалов еще нельзя иметь окончательного суждения о пригодности этого двигателя, в особенности как тяговой машины, эксперт считает необходимым изменение методики расчета. Расчет должен базироваться на правильно и обоснованно выбранных технических условиях для этого двигателя как тягового. Необходима проектировка и сооружение обоих видов двигателей по одним и тем же техническим условиям, согласованным с НКПС.

Бригада электрификации секции транспорта Академии наук в своих выводах из итогов дискуссии, отметила весьма низкий уровень культуры экспериментальных работ, проводимых на заводе «Динамо» им. Кирова и в ВЭИ и недопустимую медлительность в проведении экспериментов. В подтверждение этого приводятся следующие факты: 1) Лабораторная модель для проверки теории двигателя Бенедикта проектировалась, строилась заводом «Динамо» им. Кирова около пяти лет и выполнена настолько неряшливо, что делает качество проведенных на ней экспериментов не вполне надежным. 2) Опытный экземпляр электровоза однофазного тока 50 Hz с ртутной выпрямительной установкой строился заводом в течение пяти лет. 3) Построенный в ВЭИ коллекторный двигатель для экспериментальной проверки схемы, предложенной инж. Шильдинером, пока вовсе не дал возможности произвести эксперименты из-за низкого качества своего выполнения, хотя сооружение двигателя заняло два года.

Эти факты говорят прежде всего о крайне не-серезном и невнимательном отношении к экспериментальным работам со стороны завода «Динамо» им. Кирова и ВЭИ. Прямыми следствием такого отношения к экспериментам является крайняя трудность развития новых технических идей и внедрения их в практику.

Секция транспорта ОТН АН СССР признала необходимым обратиться к Народному комиссару электростанций и электропромышленности СССР с просьбой упорядочить опытное строительство в электротяговой промышленности в направлении создания необходимых условий для успешного освоения новых идей.

Опытный электровоз однофазного тока 50 Hz

Б. Н. ТИХМЕНЕВ и Н. О. ЧЕКМАРЕВ

Завод „Динамо“ им. Кирова

ЗАВОДОМ «Динамо» им. Кирова в конце прошлого года был закончен монтаж первого советского магистрального электровоза однофазного тока нормальной частоты (50 Hz) высокого напряжения 20 000 V. Электровоз построен по системе однофазно-постоянного тока. Для преобразования рода тока на электровозе применен ртутный выпрямитель с управляющими сетками.

Как известно, электровозы такой системы не проверены еще в эксплоатационных условиях. Новый электровоз является экспериментальным образцом. Для постройки экспериментального электровоза были максимально использованы уже освоенные нашей промышленностью конструкции и оборудование. Так например, использованы без изменения тележки и тяговые двигатели серийного электровоза постоянного тока СМ. В связи с необходимостью размещения более громоздкого оборудования (трансформатор, ртутный выпрямитель) кузов электровоза имеет специальную конструкцию.

Главное электрооборудование электровоза состоит из двух токоприемников с опорными изоляторами на 20 000 V, однофазного масляного выключателя с электропневматическим приводом, трансформаторного агрегата, состоящего из двух трансформаторов — главного и вспомогательного, заключенных в общий бак, двенадцатиандного ртутного выпрямителя, сглаживающего дросселя и шести тяговых двигателей постоянного тока типа ДПЭ-340.

Вспомогательное оборудование включает 2 мотор-вентилятора для вентиляции тяговых двигателей, 2 мотор-компрессора, радиаторную установку с мотор-вентилятором для охлаждения воды циркуляционной системы охлаждения ртутного выпрямителя.

Электровоз имеет следующие основные данные: колесная формула 0—3+3—0, общий и сцепной вес 132 t, нагрузка на ось 22 t, диаметр колеса 1220 mm, мощность часовом режиме 2040 kW, скорость часовом режиме 37 km/h, тяговое усилие 20 000 kg, к. п. д. 0,85.

На рис. 1 приведена принципиальная схема силовой цепи электровоза совместно с упрощенной схемой сеточного регулирования и защиты.

Однофазный ток нормальной частоты, напряжение 20 000 V, снимаемый с контактного провода двумя пантографами 1, попадает через масляный выключатель 2 на первичную обмотку главного трансформатора 3, от вторичной обмотки которого питается ртутный выпрямитель электровоза 6. Пуск и установление любой экономической скорости шести тяговых двигателей производятся путем регулирования величины выпрямленного напряжения с помощью сеток, установленных на анодах ртутного выпрямителя.

Двенадцать анодов ртутного выпрямителя, образуют две группы фазовых анодов, по пять анодов в каждой, и одну группу нулевых анодов, состоящую из двух отдельных анодов. Равномерное распределение нагрузки между параллельно работающими анодами каждой группы осуществляется при помощи трех анодных реакторов 5, два из которых пятиобмоточные — для фазовых анодов и один двухобмоточный — для нулевых анодов.

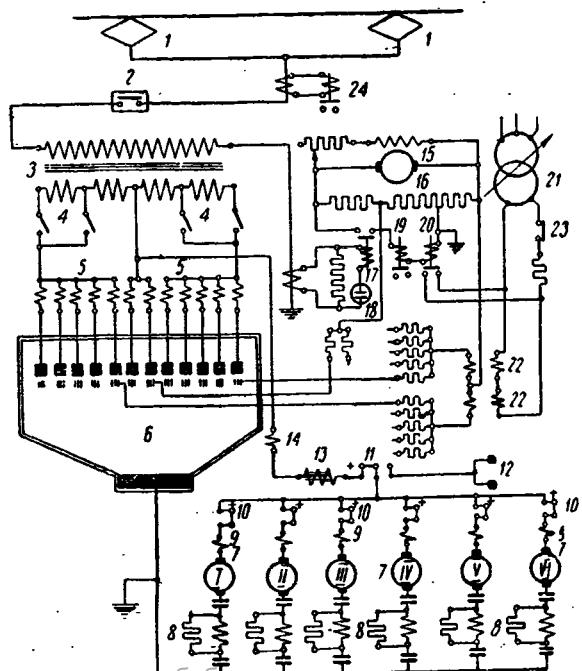
Сглаживание пульсаций выпрямленного тока, который создает неблагоприятные условия для коммутации тяг-

вых двигателей и увеличивает нагревание их, выполняется, во-первых, сглаживающим дросселем 13, включенным перед тяговыми двигателями, и, во-вторых, при помощи шунтирования обмотки возбуждения этих двигателей омическим сопротивлением 8, через которое отводится переменная составляющая выпрямленного тока, что приводит к постоянству потока возбуждения тяговых двигателей.

При повреждениях тяговые двигатели могут отключаться по одному, так что электровоз может работать с любым числом отключенных двигателей. Но уменьшение мощности его при этом не будет пропорционально числу отключенных двигателей, а будет снижаться несколько больше, так как часовая и длительная мощность оставшихся двигателей несколько уменьшится вследствие увеличения пульсации тока в них от понижения приведенной на один двигатель самоиндукции сглаживающего дросселя.

Изменение направления движения электровоза производится при помощи реверсоров, переключающих обмотки возбуждения тяговых двигателей.

Регулирование величины выпрямленного напряжения, дающее возможность получать плавный пуск электровоза до любой скорости, осуществляется путем поворачивания фазорегулятора 21, находящегося в контроллере машиниста. На постоянный запирающий потенциал, непрерывно подаваемый на сетки фазовых анодов от сеточного ген-



ратора 15, накладывается переменная составляющая от фазорегулятора, преобразованная в пикообразную форму в пиктрансформаторе 22 (сильно насыщенный трансформатор), положительные пики которой, перекрывая постоянный запирающий потенциал, зажигают одну из групп фазовых анодов.

При поворачивании фазорегулятора происходит смещение по фазе сеточного напряжения по отношению к напряжению на фазовых анодах таким образом, что положительная пика, приходящаяся при нулевом положении контроллера к концу положительного полупериода фазового напряжения, смещается к началу его при повороте фазорегулятора на 180° , и время горения одной группы анодов от момента зажигания до конца полупериода увеличивается. Величина же напряжения, подводимого к тяговым двигателям, равная среднему выпрямленному за полупериод напряжению, будет изменяться от нуля до максимума.

Вследствие того, что коэффициент мощности установки при малых напряжениях выпрямленного тока (при глубоком регулировании напряжения сетками) невелик, пришлось для получения большей экономичности среднего диапазона скоростей применить схему, позволяющую подавать на ртутный выпрямитель половинную величину напряжения от промежуточных выводов вторичной обмотки главного трансформатора.

Таким образом на первой ступени включения р. в. (от промежуточных выводов трансформатора) напряжение на тяговых двигателях повышается от 0 до 750 В. Затем следует переход на вторую ступень. На второй ступени ртутный выпрямитель питается от крайних выводов главного трансформатора, а на сетки подается переменное напряжение, смещенное до середины положительного полупериода, т. е. устанавливается угол регулирования в 90° .

Таким образом напряжение на двигателе после перехода будет равно 750 В, т. е. останется неизменным. При дальнейшем поворачивании фазорегулятора напряжение на тяговых двигателях будет постепенно повышаться до 1500 В.

Силовая цепь тяговых двигателей электровоза защищается от коротких замыканий специальным быстродействующим реле. Силовой виток этого реле, включенный в общую цепь тяговых двигателей, размагничивает поток, создаваемый удерживающей катушкой, и приводит при больших токах к срабатыванию реле. Контакты реле, разрывая цепь фазорегулятора, прекращают подачу положительных пиков на сетки фазовых анодов, и горение дуги в ртутном выпрямителе под действием оставшегося на сетках запирающего потенциала прекращается.

Защита тяговых двигателей от перегрузки осуществляется при помощи реле перегрузки, включенных в цепь каждого двигателя, контакты которых разрывают цепь удерживающей катушки быстродействующего реле, что приводит в конечном итоге к запиранию ртутника.

От обратных зажиганий ртутный выпрямитель защищен быстродействующими реле сеток, одно из которых соединяется с трансформатором тока, находящимся в цепи первичной обмотки главного трансформатора, через неодинаковые лампы, порог зажигания которых обеспечивает точность сеточной защиты. При срабатывании первичного быстродействующего реле сеток контакты его, шунтируя через обмотку вторичного реле сеток и промежуточного реле часть сопротивления потенциометра сеточного генератора, вызывают такое распределение напряжения последнего, что на сетках фазовых анодов величина запи-

рающего потенциала достигает величины, перекрывающей положительные пики, подаваемые фазорегулятором, и ртутник запрется.

Деонизирующее действие сеток усиливается после срабатывания вторичного быстродействующего реле сеток, контакты которого замыкают накоротко первичные обмотки пик-трансформаторов, прекращая тем подачу положительных пиков на сетки фазовых анодов. С некоторым запаздыванием по отношению к действию сеточной защиты происходит выключение масляника, к выключающему соленоиду которого напряжение подается контактами промежуточного реле, включенного последовательно с катушкой вторичного быстродействующего реле сеток.

При коротких замыканиях на землю первичной обмотки главного трансформатора (а также вспомогательного трансформатора) происходит выключение масляника под действием максимального реле, питаемого от трансформатора тока, находящегося в начале высоковольтной цепи электровоза.

На рис. 2 приведена принципиальная схема вспомогательных цепей электровоза.

Вспомогательные машины электровоза — компрессоры, вентиляторы, насосы и др. — работают от трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, которые включаются дистанционно каждый своим электромагнитным пускателем и защищаются от перегрузки тепловыми реле, находящимися в самих пускателях.

Трехфазная система, питающая асинхронные двигатели вспомогательных машин, создается расщепителем фаз, представляющим собой синхронную машину с двумя статорными обмотками, сдвинутыми одна по отношению к другой на 90° электрических градусов. Одна из этих обмоток, называемая моторной, включенная на 220 В от вспомогательного трансформатора, создает пульсирующий магнитный поток, инверсная составляющая которого гасится демпферной клеткой вращающегося ротора.

В другой статорной обмотке, генераторной, которая присоединяется одним концом к промежуточному выводу моторной обмотки, наводится вращающимся полем (синхронной составляющей пульсирующего потока) э. д. с., сдвинутая по фазе на 90° по отношению к напряжению на моторной обмотке.

В пазах ротора расщепителя фаз, помимо демпферной клетки, заложена обмотка возбуждения, питаемая постоянным током в 50 В, которая, создавая основной магнитный поток в машине, разгружает моторную обмотку от намагничивающего тока.

Концевые выводы моторной обмотки совместно с другим выводом генераторной обмотки образуют трехфазную симметричную систему только при нормально включенной нагрузке (вентиляторы и насосы), что достигнуто соответствующим подбором витков в генераторной обмотке и в двух частях моторной обмотки.

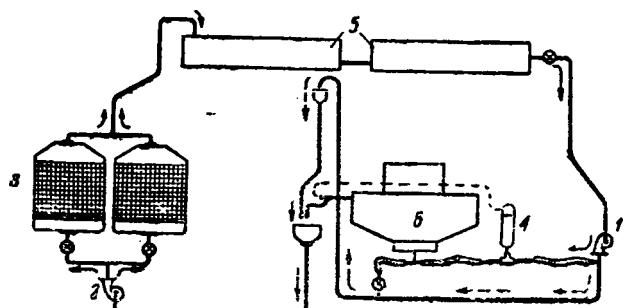
Расщепитель фаз, как двигатель, представляет собою однофазную машину, не имеющую пускового момента поэтому для пуска его моторная обмотка включается через дроссель, а генераторная — через омические сопротивления, чем достигается получение пускового момента. Для уменьшения времени, необходимого для пуска, расщепитель фаз раскручивается одновременно генератором управления, сидящим с ним на одном валу, который работает при этом как шунтовой мотор от аккумуляторной батареи электровоза. Весь этот комбинированный пуск фазорасщепителя, а также переход его в генератор управления на нормальную работу производится совершенно автоматически, после нажатия одной кнопки.

Помимо машин, вспомогательный трансформатор либо первичные обмотки трансформатора возбуждения и зажигания ртутного выпрямителя, а также трансформаторы ртутного насоса, которая автоматически переключается на питание от аккумуляторной батареи приключенном маслянике.

Приборы, установленные на щитах в кабинах машины, дают возможность контролировать ток и напряжение высоковольтной цепи и цепи тяговых двигателей, а также состояние вакуума в ртутном выпрямителе (электрическим вакумметром).

Для охлаждения ртутного выпрямителя применена замкнутая циркуляционная система воздушно-водяного охлаждения. На рис. 2 приведена упрощенная схема охлаждения выпрямителя.

Вода, нагретая в рубашке ртутного выпрямителя 6, из центробежными насосами 1 и 2 подается в синхронизатор 3, через которые вентилятором про-



воздух. Охлажденная вода из радиаторов вновь поступает в выпрямитель. Постоянство температуры корпуса выпрямителя обеспечивается действием терморегулирующего клапана 4, который, реагируя на температуру воды на выходе из рубашки, автоматически увеличивает или уменьшает подачу воды.

Система охлаждения выполнена так, что во время работы электровоза с малыми нагрузками или при движении без тока, когда терморегулирующий клапан частично или полностью закрыт, вода может циркулировать помимо выпрямителя и продолжает охлаждаться. Это дает возможность на подъемах, где электровоз работает с большой нагрузкой, отводить потери выпрямителя не только за счет теплоотдачи в радиаторах, но и за счет теплоемкости

воды, допуская некоторое повышение средней температуры массы воды. Для увеличения перегрузочной способности теплоемкость системы искусственно увеличена введением в схему запасных баков с водой 5.

Охлаждение ртутного насоса выпрямителя осуществляется посредством особой системы водяного охлаждения, вода в которой охлаждается небольшой компрессорной холодильной установкой производительностью в 700 Cal в час.

В настоящее время закончены заводские испытания электровоза в стационарных условиях, показавшие удовлетворительную работу схем электровоза. Электровоз будет передан затем Научно-исследовательскому институту железнодорожного транспорта для линейных испытаний.

Конденсаторные двигатели в применении к электрической тяге

И. Б. БАШУК

Московский энергетический институт им. Молотова

В ЛИТЕРАТУРЕ в настоящее время обсуждается вопрос об использовании конденсаторного двигателя для целей электрической тяги. Отдельные исследования достаточно выяснили особенности этого двигателя. Однако до сих пор еще не проанализировано, в какой мере он удовлетворяет специфическим требованиям тяги.

Конденсаторный двигатель в неуравновешенном режиме. На рис. 1 представлены кривые тока I_a в главной фазе и I_b во вспомогательной в зависимости от скольжения s . Кривые 1, 2, 3 относятся к случаю, когда емкость во вспомогательной фазе двигателя при пуске больше, чем при нормальной работе, в ротор же включено сопротивление, уменьшающееся с возрастанием номера кривой. Кривые 4 и 5 построены для меньшей емкости — первая с сопротивлением в роторе, вторая — с полностью выведенным сопротивлением. Для этих же случаев на рис. 2 и 3 изображены кривые $M = \varphi(s)$ и $\cos \varphi = f(s)$. Все кривые даны для двигателя, у которого $\bar{u} = 1$, и они могут быть построены, например, с помощью метода F. Pung'a или круговой диаграммы Krondl¹.

Одновременным изменением емкости и сопротивления в цепи ротора можно получить довольно благоприятную кривую разгона, обозначенную пунктиром на рис. 2. Для уменьшения толчка момента при уменьшении емкости необходимо, очевидно, предварительно снова ввести сопротивление в ротор и уменьшить момент настолько, чтобы при последующем включении рабочей ступени емкости и отключении сопротивления изменение момента было бы минимальным.

Рис. 1 и 3 показывают, что уравновешенный режим для двигателя при $\bar{u} = 1$ наступает при $\cos \varphi = 1$ и $I_a = I_b$. Следовательно, относительно напряжения токи должны быть сдвинуты на 45° . Соответственно этому параметры двигателя подбираются таким образом, чтобы получить симметричный или близкий к нему режим при нормальной нагрузке. Опрокидывающий момент получается при этом довольно незначи-

тельный, — отношение $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$ не превышает $1,2 \div 1,3$. Можно повысить опрокидывающий момент включением добавочной емкости, но это поведет, однако, к нарушению симметрии. Если же число полюсов не постоянно, то для получения симметричного режима в главную фазу двигателя при уменьшении числа полюсов необходимо включить дроссель. Тогда, несмотря на снижение тока холостого хода при уменьшении числа полюсов и ослабление насыщения двигателя, сдвиг между фазными токами может быть снова доведен до 90° .

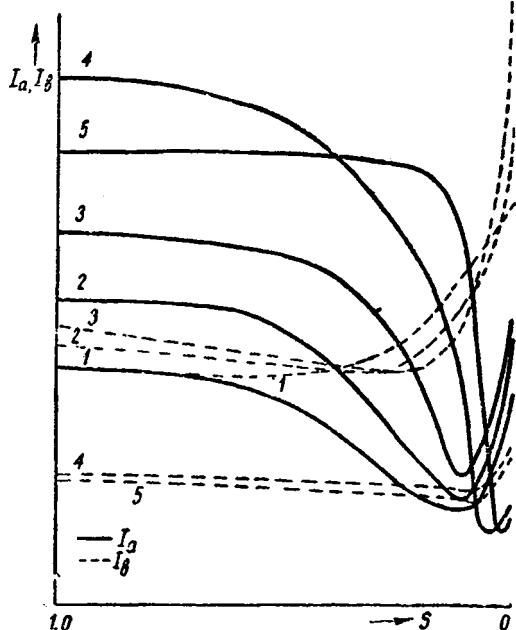


Рис. 1. Зависимость токов I_a и I_b от скольжения s при различных сопротивлениях в роторе и емкости во вспомогательной фазе.

Кривые 1, 2 и 3 — емкость при пуске больше, чем при нормальной работе; 5 — пуск при полностью выведенном сопротивлении

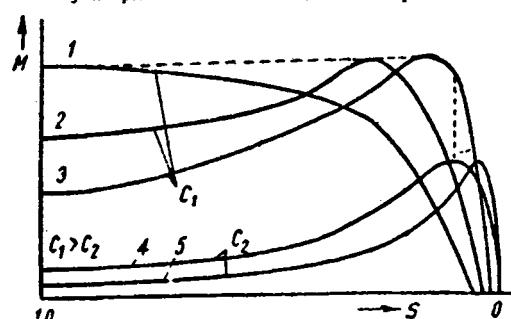
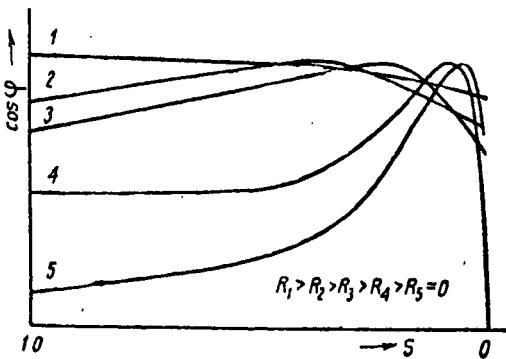


Рис. 2. $M = f(s)$. Кривые 1, 2, 3 — емкость во вспомогательной фазе при пуске больше, чем при нормальной работе, 4 — сопротивление выведено полностью

¹ F. Pung a, „Das Stromvektordiagramm des Einphasenmotors mit Kapazität in der Hilfsphase“ ETZ, N. 13, 1938; Krondl, Berechnung von Einphasen-Kondensatormotoren“ E & M, N. 143, 1934.

Рис. 3. $\cos \varphi = f(s)$.

1, 2 и 3 — емкость во вспомогательной фазе при пуске больше, чем при нормальной работе, 5 — сопротивление выведено полностью

Рассмотрим несколько подробнее, при каких условиях двигатель может работать в симметричном режиме. Для этого обратимся к его круговой диаграмме. Krondl, который предложил метод построения этой диаграммы, доказал², что она может быть построена с помощью круговой диаграммы взятого за основу двухфазного двигателя (рис. 4).

Согласно Krondl синхронная и инверсная составляющие токов определяются так:

$$i_m = \dot{U} Y_m \frac{b}{2a}, \quad (1)$$

$$I_g = U Y_g \frac{c}{2a}, \quad (2)$$

где Y_m и Y_g — соответственно проводимости для синхронной и инверсной составляющих токов; a и b — комплексы, отложенные в произвольном масштабе — первый — от полюса C до точки $\dot{U} Y_m$ и второй — от полюса B до точки $\dot{U} Y_g$.

Рис. 4 и уравнение (2) показывают, что инверсный ток равен нулю только тогда, когда полюс C совпадает с окружностью токов, положенной в основу двухфазного двигателя.

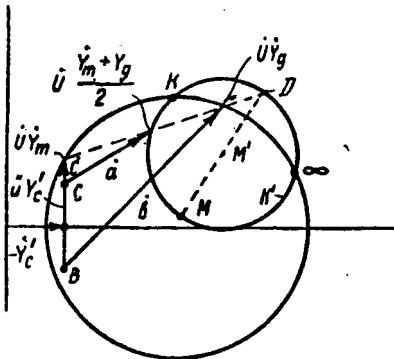


Рис. 4. Круговая диаграмма конденсаторного двигателя

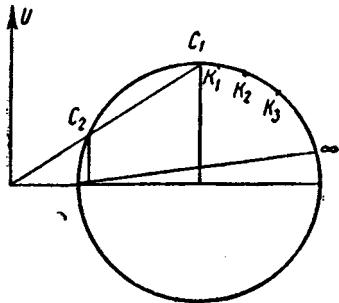
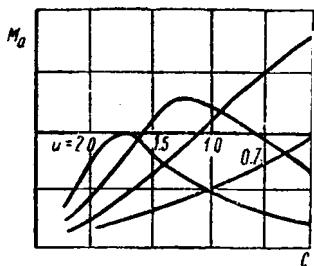


Рис. 5

Рис. 6. Зависимость пускового момента от емкости и u

Так как отношение длин отрезков $\frac{u Y'_c}{Y'_c} = u$ — величина постоянная, то их геометрическая сумма, определяющая положение полюса C инверсной составляющей тока, представляет собой вектор, конец которого скользит по прямой с угловым коэффициентом u . Прямая может пересечь окружность только в двух точках, поэтому на круговой диаграмме Krondl имеются максимум две точки, отвечающие двум значениям емкости, в которых полюс C совпадает с окружностью. Можно подобрать параметры двигателя такими, чтобы сов-

местить эти точки с точками пуска и нормальной работы (рис. 5).

Schanz вывел следующую формулу для момента конденсаторного двигателя³:

$$M = k \frac{R_2}{s} I_a I_b \sin \alpha, \quad (3)$$

где k — постоянная, зависящая от параметров двигателя, α — угол, приблизительно равный углу между I_a и I_b .

Из формулы (3) видно, что если производить пуск двигателя таким образом, чтобы сопротивление его в роторе подчинялось закону $\frac{R_2}{s} = \text{const}$, то можно получить постоянство момента в течение всего периода разгона. Одновременно будут обеспечены условия симметрии или если они нарушены в момент пуска, то степень отклонения от них останется неизменной.

Конденсаторный двигатель имеет ту характерную особенность, что при очень малых скольжениях и достаточно большой емкости фазовые токи не уменьшаются, а увеличиваются, превосходя иногда даже номинальные значения, что увеличивает потери в меди⁴. Таким образом с точки зрения нагрева тяговый конденсаторный двигатель, если не принять специальные меры, обеспечивающие симметричный или близкий к нему режим при любой нагрузке, — будет поставлен в более тяжелые условия по сравнению с обычным серийным двигателем постоянного или переменного тока.

При проектировании двигателя существенно правильно выбрать его параметры $u = \frac{w_a}{w_b}$ и емкость. На рис. 6 даны кривые зависимости пускового момента M_a в функции емкости для различных u .

При использовании для тяги конденсаторные двигатели должны иметь $u = 1,1 \div 1,2$. При этих значениях будет обеспечен достаточный пусковой момент и $\cos \varphi$, близкий к единице, но опережающий при нормальной нагрузке, что особенно важно для контактной сети.

Schuysky показал⁵, что наибольший пусковой момент развивается конденсаторным двигателем в случае

$$Z_c = u^2 Z. \quad (4)$$

Следует, однако, отметить, что это условие не совпадает с условием симметрии токов, которое соблюдается лишь при $Z_c = u(u + j)Z$ и дает при $u = 1 |Z_c| = \sqrt{2} |Z|$.

Поэтому, выбирая пусковую емкость по уравнению (4)

следует учитывать резкое возрастание токов, которые могут достигнуть опасных с точки зрения теплостойкости изоляции значений.

Явления резонанса. Любое искажение формы кривой напряжений линии и конденсаторной фазы мотора (\dot{U} и I) вызывает изменение формы напряжения на конденсаторе.

В случае искажения формы напряжения кажущаяся емкость может превзойти номинальную, по данным Huggins, на 10 и даже больше процентов, вызывая увеличение напряжения на конденсаторе и тока в его цепи до 30%, что повлечет

² Доказательство Krondl относится к случаю, когда фазная зона мотора занимает до 90° электрических и когда сечение обмоток каждой фазы обратно пропорционально отношению их витков.

³ A. Schanz, „Momentbildung und Lauferkupferverluste Einphasen-Kondensatormotor“, E. u. M., S. 333, 1934.

⁴ См. рис. 1 и названные статьи Punga и Schanz.

⁵ Schuysky, „Das Anlaufmoment des Einphasenmotor Hilsphase“, ETZ, N. 47, 1935.

кой ухудшение к. п. д., $\cos \varphi$ сети и повысит нагрев обмоток, особенно обмотки конденсаторной фазы. У двигателей большой мощности хорошая форма напряжения может быть получена при выполнении обмотки хордовой с двумя стержнями в пазу.

Резонанс напряжений может получиться во вспомогательной фазе двигателя, так как последовательно с ней включена емкость. Диаграммы кажущихся сопротивлений двигателя (рис. 7) показывают, что при его уравновешенной работе резонанс напряжения для основной гармоники невозможен. На диаграммах означают: Z_a и Z_b — кажущиеся сопротивления главной и вспомогательной фаз двигателя; Z_c — реактивное сопротивление конденсатора.

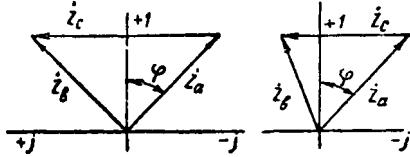


Рис. 7. Диаграмма кажущихся сопротивлений конденсаторного двигателя

Для простоты рассмотрим случай, когда $\dot{U} = 1$. Тогда кажущееся сопротивление фазы получается большей частью таким⁸, что $\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R} = 1$.

При уравновешенной работе и $\dot{U} = 1$ результирующая реактивность фазы выражается разностью:

$$z_c - z_a \sin \varphi = \frac{\sqrt{2}}{2} z_a, \quad (5)$$

то время как для получения резонанса необходимо, чтобы эта разность была равна нулю. Если выбрана емкость, обеспечивающая максимальный пусковой момент, то: $z_c = z_a$, результирующая реактивность фазы:

$$z_c - z_a \sin \varphi = \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) z_a \approx 0,3 z_a. \quad (6)$$

Из сравнения равенств (5) и (6) видно, что во втором случае результирующая реактивность вспомогательной фазы

меньше, чем в первом случае в $\frac{\sqrt{2}}{2 - \sqrt{2}} \approx 2,39$ раза. Это

свойство должно быть учтено. Хотя оно и свидетельствует об отсутствии резонанса с основной гармоникой, но вместе с тем оно показывает, что порядок высших гармоник, которых он может произойти, снизился⁷.

Резонанс токов опасен для конденсаторного двигателя тем, что: 1) ток в каждой из фаз может быть значительно больше общего тока и что 2) при резонансе с высшими гармониками возникают значительные вихревые токи и очень высокие потери от гистерезиса, которые могут вызвать перегрев железа двигателя. Кроме того, наступающее при резонансе искажение формы кривой тока ведет к увеличению потерь в контактной сети и рельсах и к вредному влиянию на провода связи.

Может показаться, что резонанс с 1-й гармоникой наименее опасен. Однако рассмотрение осциллограммы токов конденсаторного двигателя показывает, что это не так; довольно значительное искажение формы кривой тока (особенно сильное в той фазе, в которую включен конденсатор) бывает лишь у тех двигателей, у которых не приняты соответствующие меры.

Вспомогательная фаза конденсаторного двигателя представляет собой контур с последовательно включенными R , C и $L = f(I)$. В таком контуре возможно явление ферро-резонанса. Однако напряжение на емкости, включенной во вспомогательную фазу двигателя, всегда больше индуктивного элемента напряжения, и прямая $U_C = f(I)$ имеет с кривой $I = f(I)$ только одну точку пересечения — начало координат. Для того же, чтобы был возможен ферро-резонанс, точек пересечения должно быть две.

См. сноску 1.

Подробно о резонансе токов, см. ст. Г. В. Меркина в журн. "Электричество" № 10, 1938.

Argetz обнаружил⁸, что ферро-резонанс может быть получен не только обычно применяемым плавным повышением напряжения, но также с помощью так называемого "магнитного встрихивания". На вопрос о том, существует ли возможность резонанса в конденсаторном двигателе при явлениях, аналогичных действию "магнитного встрихивания" (резкое выведение сопротивления в роторе, коммутационные перенапряжения, включение на другое число полюсов и т. д.), может ответить лишь опыт.

Включение и выключение. Этот вопрос имеет очень большое значение для нормальной работы электровоза с конденсаторными двигателями, так как именно при включении и выключении возможны наибольшие перенапряжения и толчки токов. Возникающие при этом нестационарные явления исключительно сложны и в настоящее время, насколько нам известно, разработан лишь вопрос о выключении двигателя.

Непосредственно после отключения двигателя от сети фазовые токи I_a и I_b должны принять некоторое новое, общее значение I_1 . Так как при отключении емкость во вспомогательной фазе оказывается последовательно соединенной с обеими фазами машины, а ротор продолжает вращаться по инерции, — двигатель переходит на асинхронный генераторный режим с емкостным возбуждением. Теоретические расчеты и осциллограммы показывают, что ток I_1 в фазах двигателя при выключении сначала уменьшается, а затем снова увеличивается и лишь после этого спадает до нуля. Пик тока может быть равен 2—3-кратному значению его до отключения и проявляется особенно резко у быстроходных машин большой мощности. Для двигателей, работающих в обычных условиях, это не может привести к осложнениям.

Для тяговых конденсаторных двигателей не разрешен вопрос о том, каковы будут толчки тока и перенапряжения при переключении их с одного числа полюсов на другое. Очевидно лишь, что если не принять специальных мер (вроде предварительного отключения конденсаторной фазы или переключения ее на омическое сопротивление, большие толчки тока могут вызвать осложнения работы защиты и потребуется усиленная, против обычного, изоляция двигателя. Что касается коммутационной аппаратуры на электровозе, то она должна быть выбрана быстродействующей и с большим запасом диэлектрической прочности.

Возможные схемы электровозов с конденсаторными двигателями. Как уже указывалось, выше при постоянном напряжении конденсаторный двигатель работает в симметричном режиме лишь при определенных значениях емкости и нагрузки. В условиях тяги нагрузка двигателей непрерывно изменяется в очень больших пределах и зависит от сопротивления движению. Поэтому для обеспечения удовлетворительного к. п. д. и $\cos \varphi$ при любом скольжении электровоз должен иметь трансформатор (рис. 8), позволяющий регулировать соответственно нагрузке напряжение на клем-

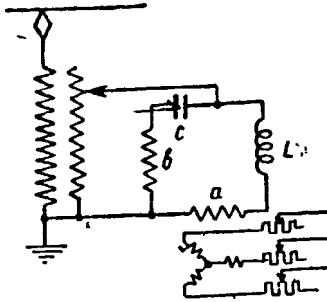


Рис. 8. Схема электровоза с конденсаторным двигателем

маков двигателей. Трансформатор должен быть выполнен с таким числом ступеней напряжений, которое обеспечивает внутри каждой ступени допустимые значения токов, $\cos \varphi$ и к. п. д. при нарушении симметрии.

При пуске электровоза, для создания большого момента и повышения перегрузочной способности, во вспомогательную фазу необходимо включать емкость большую, чем при нормальной нагрузке. В процессе разгона сопротивление в роторе должно выводиться по закону $\frac{R_2}{s} = \text{const}$ с тем, чтобы

обеспечить постоянство момента и симметрию токов в период пуска. Осуществить это можно вполне автоматически с помощью специального реле, связанного с индукционным реостатом и реагирующего на изменение $\cos\varphi$ или на неравенство фазовых токов.

Регулирование скорости в случае, если на электровозе установлен лишь один двигатель, производится изменением числа полюсов. Можно выполнить электровоз и с несколькими двигателями. За границей, в частности в Англии, мощность построенных конденсаторных двигателей достигла уже 720 л. с., что более чем достаточно для тяговых двигателей при индивидуальном приводе. В этом случае регулирование скорости можно производить каскадным включением и изме-

нением числа полюсов. Следует отметить, что распределение нагрузок между параллельно работающими двигателями будет более равномерным, чем у обычных асинхронных, так как конденсаторные двигатели имеют квадратичную шкалу скольжения. Кроме того, $\cos\varphi$ при соединении двигателей в каскад может быть улучшен той частью емкости, которая при каскаде не используется.

Существенную экономию в величине емкости можно получить, если применить не однофазный, а двухфазный понижающий трансформатор и включить конденсаторы на стороне высокого напряжения. Этот способ, однако, обладает тем недостатком, что требует применения высоковольтной аппаратуры.

ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Генрих Герц и современная радиотехника¹

И. Г. КЛЯЦКИН

Московский энергетический институт им. Молотова

НАЧАЛО радиотехники неразрывно связано с именем одного из наиболее выдающихся физиков конца XIX столетия — Генриха Рудольфа Герца, доказавшего 50 лет тому назад существование электромагнитных волн. Незадолго перед тем работы Максвелла заставили усомниться в достоинствах теории дальнодействия, которая все электрические и магнитные явления описывала с точки зрения мгновенного действия на расстоянии. Эта теория, использовавшая понятие потенциала и аналогию с явлением тяготения, хорошо объясняла электростатическое и магнитостатическое действия, но с большим трудом, несмотря на все остроумие Ампера и его последователей, укладывала в свои рамки взаимодействие электричества и магнетизма. Идеи Фарадея, приведшие его к такому фундаментальному открытию, как открытие электромагнитной индукции, полностью противоречили господствовавшей в то время теории. Придавая основное значение среде, Фарадей не мог признавать мгновенного действия на расстоянии. Максвелл, который принял физическую теорию Фарадея и придал ей математическое оформление, пришел к необходимости приписать электрическим и магнитным явлениям конечную скорость распространения, равную скорости света.

В теории Максвелла был, однако, один пункт, который должен был вызывать наибольшее сомнение. Для того чтобы всякий ток был замкнут, Максвелл ввел новое понятие о токе смещения. Этот ток смещения должен был существовать не только в диэлектриках, где его можно было объяснить перемещением зарядов (смещением электронов, как сказали бы сейчас), но и в эфире, где никаких зарядов быть не могло. Между тем, су-

ществование тока смещения и магнитного поля вокруг этого тока являлось краеугольным камнем теории Максвелла и основанием для утверждения о существовании электрических и магнитных явлений в пространстве без зарядов и магнитных масс. Это положение, основанное на гипотезе, проверенной опытом, хотя и придавшее стройность теории, но в корне противоречившее當時ным взглядам, не могло быть приемлемым для большинства физиков второй половины XIX века. Знаменитые работы Максвелла «A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field», написанные в 1864 г., и «Treatise on Electricity and Magnetism», опубликованная в 1873 г., плохо воспринимались и по большей части считались мало обоснованными выдумками. Между тем, Максвелл был логичен до конца. Из его теории следовало, что электромагнитные возмущения могут существовать в диэлектрике лишь в виде поперечных волн, распространяющихся со скоростью света. Так как к тому времени уже восторжествовала волновая теория света, предложенная Гюйгеном и разработанная Юнгом и Френелем, доказавшая, что свет распространяется в «световом пространстве» в виде поперечных волн, то Максвелл, естественно, пришел к выводу об электромагнитной природе света.

Эту теорию, явившуюся значительным шагом вперед по сравнению со старыми взглядами, которая произвела революцию в физике, дала основание для быстрого развития электродинамики. Герцу удалось обосновать рядом укоризненных экспериментов.

Начиная с 1878 г., Герц размышлял о токе смещения. Необходимость высокой частоты для доказательства еще тогда была ясна Герцу, но он не знал способов получения частот выше нескольких сот килогерц. Когда осенью 1886 г. были проведены опыты с возбуждением колебаний

¹ Статья из юбилейного сборника Академии наук СССР «50 лет воли Герца».

простейшего искрового генератора ему удалось получить колебания с частотой порядка 60—70 MHz, он взялся за доказательство существования тока смещения, и в 1887 г. задача была решена. Применив открытый колебательный контур, Герц в 1888 г. доказал существование электромагнитных волн, конечную скорость их распространения и отражение от проводящих поверхностей. Однако для решающих опытов, которые должны были показать полную тождественность электромагнитных и световых волн, установить поляризацию волн и доказать существование не только их отражения, но и преломления, нужно было перейти к еще более коротким волнам. Герц получает волны, длиной приблизительно в 60 см. (частота около 500 MHz), и с ними проводит последние опыты. Доклад об этих работах 13 декабря 1888 г., т. е. 50 с лишним лет тому назад, подвел итог двухлетним работам Герца, обессмертившим его имя.

Таким образом, Герц завершил развитие классической электродинамики, основы которой были заложены Фарадеем и Максвеллом. Он сделал понятными главные идеи этой теории и экспериментально доказал ее правоту. Недаром в дальнейшем, до создания электронной теории Лоренцом, теория электричества и магнетизма излагалась, а в значительной мере излагается и сейчас, в том виде, как она была оформлена Герцом и другим выдающимся ученым — Хевисайдом.

Однако, помимо этого, Герц своими опытами дал в руки физиков мощное экспериментальное орудие. Он не только показал, как надо работать на ультракоротких и даже на дециметровых волнах, но и построил излучающие и приемные устройства, направленные системы и целый ряд других элементов, которыми смогла воспользоваться народившаяся через несколько лет радиотехника. Хотя сам Герц и не думал о возможности практического применения своего открытия, передача электромагнитной энергии без проводов для целей связи получилась как естественное продолжение его опытов.

Надо сказать, что после своего доклада 13 декабря 1888 г. Герц сделался одним из самых популярных ученых. Его опыты были повторены ульи не всеми учеными, занимавшимися электромагнетизмом. Начали появляться усовершенствования. Из наиболее значительных надо упомянуть изобретение когерера Бранли. Вместо трещущих чрезвычайно тонких измерений и неубийственных приемных устройств с искровым разрядником были применены приемные устройства с герером, которые значительно облегчили эксперимент. Благодаря применению когерера и воздушного провода, который мы теперь называем диодом или антенной, А. С. Попов мог построить свой «грозоотметчик», т. е. практическую в мире радиоприемную станцию. Правда, приемник принимал лишь грозовые разряды, но последние тоже представляют собой электромагнитные волны. После опытов с «грозоотметчиком» А. С. Попову пришла мысль о возможности постройки и передающей станции, которая давала бы знаки азбуки Морзе. Аппаратура приема электромагнитных волн была продемонстрирована А. С. Поповым на заседании Русского физико-химического общества 25 апреля

(7 мая) 1895 г. через полтора года после смерти Герца. Этот момент и надо считать началом радиотехники.

А. С. Попов высказал свои соображения, что при помощи такой аппаратуры, которую он демонстрировал, возможна передача телеграмм без проводов.

В 1896 г. Маркони, использовав антенну, получил связь при помощи электромагнитных волн на расстояние в несколько километров и заявил патент на передачу телеграмм без проводов. В то время как Попов в России не мог добиться поддержки, Маркони организовал акционерное общество и получил деньги для проведения дальнейших опытов.

В 1901 г. была получена первая радиосвязь через Атлантический океан, и радиотехника вышла на широкую дорогу.

Значение опытов Герца неоднократно подчеркивалось всеми пионерами радиотехники. А. С. Попов, сумевший в 1895 г. передать телеграмму при помощи электромагнитных волн и тем положивший начало радиотелеграфии, говорил со своей стороны скромностью, что он лишь повторил опыты Герца. Первая переданная им по радио телеграмма состояла лишь из двух слов: «Генрих Герц». Однако при практическом применении электромагнитных волн радиоработники постепенно отходили от Герца.

Существенно новым в работах Попова и Маркони по сравнению с предыдущими опытами было применение антенны, давшее возможность значительно увеличить дальность действия. Применение антенны заставило радиотехнику отойти от того диапазона частот, на котором работал Герц. При первых опытах по радиосвязи искровой промежуток включался непосредственно в передающую антенну. Антenna возбуждалась на собственной длине волны. Как известно, собственная длина волны вертикального заземленного провода равна приблизительно четверенной высоте. Так как дальность действия значительно увеличивается с увеличением высоты антенны, то радиосеть старались поднять возможно выше, и рабочая длина волны стала измеряться сначала десятками, а затем сотнями метров.

Опыты по связи на большие расстояния показали необходимость применения более длинных волн. Целым рядом измерений было показано, что напряженность электрического поля в среднем может определяться формулой:

$$E = 300 \sqrt{P_e e^{-\frac{\alpha d}{\lambda^2}}},$$

где E — напряженность поля в mV/m , P_e — мощность, излучаемая антенной, в kW , d — расстояние между передающей и приемной радиостанциями, λ — длина волны. Коэффициенты α и β могли быть с достаточной точностью приняты равными $\alpha = 0,0015$, $\beta = 0,5$, если d и λ выражены в километрах. Надо сказать, что различные авторы предлагали те или иные изменения коэффициентов α и β , однако несомненным оставалось то обстоятельство, что с увеличением расстояния необходимо работать все большей и большей длиной волны. Поэтому в начале XX века наблюдается постепенный рост рабочих длин волн радиостан-

ций. Максимум достигается к концу войны, к 1917—1918 гг., когда трансатлантические станции строились на волнах 20 000—30 000 м.

Этому способствовало еще то обстоятельство, что к тому времени радиотехника отказалась от применения искровых радиостанций, дававших затухающие колебания. Начали применяться исключительно незатухающие колебания и в качестве генераторов — вольтова дуга и машина высокой частоты. Эти генераторы значительно лучше работали на длинных волнах.

Итак, за первые 30 лет, с 1888 по 1918 г., наблюдается постепенное увеличение длины волны, и радиотехника проходит весь диапазон частот от дециметровых волн до волн в десятки километров. Затем начинается обратный ход.

Этому способствовало прежде всего изобретение и усовершенствование электронной лампы. Передатчики с электронной лампой давали возможность получить любую длину волны, и преимущество, которое имели длинные волны при дуговых и машинных передатчиках, исчезло. Затем, при помощи ламповых приемников оказалось возможным вести прием при таких напряженности поля, при которых ранее, на детекторных приемниках, нельзя было добиться радиоприема. Наконец, при помощи электронной лампы удалось достигнуть хорошей радиотелефонной передачи. Началось быстрое развитие радиовещания. Длинные волны для радиотелефонии неудобны, да к тому же они были заняты радиотелеграфной передачей. Поэтому радиовещание, естественно, начало развиваться на средних волнах и постепенно заняло весь диапазон до 200 м. Приблизительно в то же время при помощи чувствительных ламповых приемников удалось доказать, что трансатлантическая связь вполне возможна на волнах порядка 100 м, что противоречило всей прежней практике радиотелеграфа. Более подробное рассмотрение этого вопроса показало, что законы распространения радиоволн короче 150—200 м отличаются от законов распространения длинных волн. Эти волны оказались весьма подходящими для связи на большие расстояния, причем большее расстояние надо перекрывать, тем более короткие волны надо применять.

Двадцатые годы этого столетия были заполнены освоением коротких волн и изучением законов их распространения. Эта работа в настоящее время может считаться почти законченной. И передатчики и приемники на коротких волнах являются технически достаточно совершенными. Связь на коротких волнах можно держать почти круглые сутки на тысячи километров. Скоро и этот диапазон оказался быстро заполненным, так как количество радиотелеграфных станций все увеличивалось. Этому способствовало то обстоятельство, что на коротких волнах оказалось возможным передавать радиограммы со скоростью 100 и более слов в минуту. И впервые в истории техники связи радиотелеграф не только мог конкурировать с передачей по кабелю, но и получил некоторое преимущество. Вместе с ростом числа телеграфных станций на короткие волны частично перешло и радиовещание, не только вследствие того, что на средних волнах нехватало места, но и потому, что почти во всех основных развитых странах появилось стремле-

ние к мировому радиовещанию, а передача на большие расстояния возможна лишь на коротких волнах. В настоящее время во всем коротковолновом диапазоне нет места, которое не было бы занято или радиовещательными или радиотелеграфными станциями.

В тридцатых годах начинается переход радиотехники на новый диапазон волн. Ультракороткие волны, которыми до этого времени занимались немногие лаборатории, становятся в центре внимания радиотехники. Сначала казалось, что затруднения в генерации и приеме ультракоротких волн слишком велики для того, чтобы можно было рассчитывать на уверенную работу на этих волнах. Законы распространения ультракоротких волн, ограничивающие передачу расстояниями, немного большими прямой видимости, казалось, не давали никаких новых перспектив в деле развития радиотехники на этом новом диапазоне.

Однако в последние годы оказалось, что этот пессимизм не был достаточно основателен: радиоаппаратура на ультракоротких волнах достигла высокой степени совершенства и в области передатчиков и в области приемников. Развитие местной связи, развитие связи между самолетами и землей, радионавигация и, в особенности, быстрое развитие телевидения повлекли за собой необходимость применения именно ультракоротких волн, так как эти волны для указанных выше целей оказались наиболее пригодными. Можно ожидать, что тридцатые годы нашего столетия также закончат освоение ультракоротковолновых диапазонов, как в 20-х годах был освоен коротковолновый диапазон. На очереди стало овладение новым диапазоном. Методика дециметровых волн, правда, еще разрабатывается в лабораториях, еще нет стабильных передатчиков на этих волнах, на этом диапазоне применяются самые примитивные приемники, и сделаны только первые шаги по изучению распространения этих волн и соответствующих антенных устройств. Однако большие возможности в области направленной передачи секретной связи, большого количества радиостанций, которые могут поместиться на этом диапазоне, привлекают все передовые радиолаборатории к дециметровым волнам. Уже сейчас во многих радиожурналах статьи по ультракоротким и дециметровым волнам занимают более половины содержания. Пройдет еще не сколько лет, и дециметровые волны станут основным рабочим диапазоном волн в радиотехнике.

Таким образом, после пятидесяти лет со временем опытов Герца радиотехника вернулась — прода, на новой основе — к тому диапазону волн, который впервые был получен Герцем и при помощи которого он устроил первую направленную радиосвязь. Переход на ультракороткие и дециметровые волны ставит перед радиотехникой новые проблемы, которые интересовали Герца в решении которых он был пионером.

Уже при изучении распространения коротких волн пришлось обратить особое внимание на поляризацию, интерференцию, преломление и отражение электромагнитных волн. Эти основные закономерности сходства радиоволн со световыми волнами еще разично проявляются в дециметровом диапазоне. Все законы оптики находят широкое применение при объяснении распространения

ротких и дециметровых волн. Если мы сейчас уже далеко ушли от примитивных опытов Герца и изучаем явления значительно более сложные и на значительно больших пространствах, то все же во многих случаях нам приходится оглядываться назад, возвращаться к самим истокам радиотехники.

И в области антенных устройств переход на ультракороткие и дециметровые волны привел к новым системам, приближающим современную радиотехнику к опытам Герца. Вместо сложных антенн, состоящих из множества диполей, или больших антенн, работающих бегущей волной, появились параболические рефлекторы, повторяющие герцевские. Правда, эти рефлекторы сейчас делаются не сплошными, а состоящими из отдельных проводов, — а далее еще будут совершенствоваться и усложняться, — но основная идея системы заимствована из оптики и поэтому является развитием идей Герца. Так как длина волны в несколько сантиметров достаточно мала, чтобы построить разнообразные системы, аналогичные оптическим, мы в ближайшем будущем в связи с работами по сантиметровым волнам увидим ряд замечательных систем. Некоторые из них начинают появляться. Для примера можно указать новые колебательные системы, имеющие не одно, а два главных измерения. Однако еще более замечательно то, что в излучающих системах напрашивается аналогия не только с оптикой, но и с акустикой. Новые диапазоны волн имеют длину того же порядка, что и звуковые волны. Следовательно, будущие излучающие системы позаимствуют многое не только от радиотехники и оптики, но и от акустики.

Интересно, что и в области передачи высокой частоты появляются новые пути, правда, также основанные на старых идеях. До сих пор мы привыкли считать, что электромагнитная энергия направляется проводами, что они служат, так сказать, рельсами для направления электромагнитной энергии. Однако, исходя из эквивалентности тока смещения и тока проводимости, можно предугадать, что возможно в некоторых случаях заменить провод диэлектриком.

И здесь Герц оказался пионером. Он предложил применить для приема рамку из диэлектрика "даже отлил замкнутое кольцо из парафина.

В настоящее время эти вопросы обследуются достаточно детально. Доказано, что при помощи кабеля из диэлектрика можно с успехом передавать электромагнитную энергию. Однако это имеет смысл делать лишь при длинах волн, сравнимых с периметром кабеля. Поэтому даже при дециметровых волнах такие кабели применять еще не следует, и лишь при переходе на сантиметровые волны этот вопрос станет технически актуальным.

Таким образом, и в области излучения, приема направления электромагнитных волн современный радиотехник, постепенно развиваясь, дошел до такой ступени, когда вновь следует просмотреть самые основные принципы электромагнитного поля. Поэтому мы возвращаемся к тем вопросам, которые волновали Герца и в которых он положил первые пути.

Было бы непростительным упустить из виду одно обстоятельство. Герц в 1887 г. открыл

фотоэлектрический эффект. Это открытие он сделал мимоходом при опытах с колебаниями высокой частоты, так как заметил, что искра в первичном контуре влияет на искру во вторичном контуре. Со свойственной ему добросовестностью Герц исследовал это явление, забросив даже свою основную работу, пока не разобрал все до конца. Дальнейшие работы Хальвакса, Столетова, Эльстера и Гейтеля показали во всей широте это интереснейшее явление, разбор которого имел громадное значение для развития новой физики.

Не заставило себя ждать и техническое применение фотоэффекта. Наиболее существенным применением его надо считать телевидение. Эта область радиотехники развивается в удивительных темпах, и скоро передача телевидения будет таким же общедоступным делом, как и передача музыки в радиовещании. Уже сейчас телевидение достигло высокой степени совершенства. Сотни людей, смотревших высококачественное телевидение, с восторгом рассказывают о нем. И действительно, телевидение перестало быть техническим фокусом, а превратилось в культурное развлечение, и будущность его трудно переоценить.

Однако расширение высококачественного телевидения потребовало от радиотехники широкой полосы частот для неискаженной передачи. При той «тесноте в эфире», о которой говорилось ранее, не могло быть и речи о передаче телевидения на средних или коротких волнах. Телевидение с трудом поместилось на ультракоротких волнах, и можно, пожалуй, предвидеть, что потребуется в скором времени дальнейшее укорочение волн.

Таким образом, в телевидении гармонично слились два открытия Герца — фотоэлектрический эффект и ультракороткие волны.

В связи с этим интересно отметить, что в последние годы своей жизни Герц занимался электронным потоком — катодными лучами. Известно, какую значительную роль играют электронные потоки в современной радиотехнике, а тем более в телевидении. И может быть, если бы преждевременная смерть не прекратила его работы, наша наука обязана была бы Герцу рядом открытий и в этой важнейшей области.

В теории электродинамики Герц сделал также очень много. Он не только дал излучающую систему — диполь Герца, но вывел его теорию из уравнений Максвелла. Применение функции, которая затем была обобщена и названа вектором Герца, относится к замечательнейшим страницам математической физики. Насколько исчерпывающим было то, что сделал Герц, можно судить хотя бы по тому, что во всех курсах радиотехники и электродинамики приводятся выводы Герца почти без изменения. Картина отшнуровывания электрических силовых линий от диполя со временем Герца почти не изменилась и приводится в том виде, как ее создал Герц.

Поставив вопрос об излучении, Герц дал поле вблизи от провода и поле распространяющих электромагнитных волн, но он не решил вопроса о природе самого излучения. Над этим вопросом после Герца работали многие ученые. Только Лоренцу удалось кое-чего добиться и получить излучение как результат колебательного движения электронов, но все же задача не была решена

окончательно. Квантовая механика поставила этот вопрос на другую почву, но разрыв между излучением антенны и поведением электронов в атоме до сих пор не заполнен.

До сих пор в радиотехнике излагают вопрос об излучении по Герцу с некоторыми дополнениями, которыми мы обязаны Лоренцу и Бриллюэну. Поэтому неудивительно, что излучение серьезно интересует радиоинженеров и современная теоретическая радиотехника стремится продолжить теорию Герца.

Из нашего обзора видно, что современная радиотехника, можно сказать, закончила «первый виток спирали» и на новой основе подошла к вопросам ультравысокой частоты, которыми занимался 50 лет тому назад Герц. Работы Герца остались в науке как замечательное начало радиотехники, как непревзойденные образцы физического эксперимента. Мы сейчас продвинулись

значительно дальше и в знании электромагнитного поля и в оснащении приборами для проведения физического и технического эксперимента. Овладение тем диапазоном волн, которым занимался Герц, обеспечено такими приборами, как электронная лампа, такими материалами, как современные керамические, имеющие ничтожные потери даже на этих ультравысоких частотах.

Уже одно имя Попова показывает, что могли бы сделать наши ученые, если бы в старой России были благоприятные условия работы. В Советской стране, где мудрым руководством партии и правительства обеспечены все условия для научной работы, для дерзания в науке, — ученые физики и радиотехники имеют все возможности создать новые «чудеса» в науке и выдвинуться на первое место во всем мире. Изучение работ Герца, пятидесятилетие которых мы отмечаем, и работ других ученых поможет нам в наших новых достижениях.

Гастон Планте

(К пятидесятилетию со дня смерти)

Н. Н. ЛАМТЕВ

Свердловск

22 мая 1939 г. исполнилось пятьдесят лет со дня смерти известного французского физика Гастона Раймонда Планте, чье имя неразрывно связано с изобретением электрических аккумуляторов.

Нельзя сказать, что Планте дал человечеству какое-то принципиально новое изобретение. «Вторичные», или «поляризационные» элементы, были объектами исследований многих предшественников (Готеро, Риттер, Беккерель, Грове, Якоби и др.). Первый шаг к настоящему свинцово-вому аккумулятору был сделан Зинштедтеном еще в 1854 г., но неоспоримая заслуга Планте в том, что он придал вторичному элементу практическую форму, которая должна считаться началом развития этого химического источника тока.

Гастон Планте родился 22 апреля 1834 г. в небольшом городке Ортец (провинция Гасконь на юге Франции); учился в лицее Шарлемань и Сорбонне. Получив в 1855 г. ученую степень лиценциата физических наук, Планте некоторое время работал ассистентом у известного Э. Беккереля, в лабораториях которого молодой физик начал свои первые исследования в области электричества.

Заинтересовавшись работами русского академика Якоби, применявшего в качестве источника тока для устроенного им телеграфа вторичные батареи с платиновыми электродами, Планте в 1859 г. приступил к изучению поляризации и вторичного тока.

В своем докладе Парижской академии наук «Исследования о вольтансской поляризации»¹ среди других весьма интересных выводов Планте указал, что наиболее сильный и продолжительный вторичный ток наблюдается при употреблении свинцовых электродов в растворе серной кислоты.

Пытливый ум Планте не замедлил сделать практические выводы из своих исследований, и 26 марта 1860 г. в докладе академии о «Новом вторичном элементе большой мощности» он демонстрировал первую батарею свинцовых аккумуляторов² (рис. 1). Отдельные аккумуляторы

можно группировать в любые комбинации. На рис. 1 все элементы соединены параллельно.

Каждый элемент сконструирован из двух свинцовых листов, отделяющихся друг от друга грубым холстом. Электроды свернуты в спираль и опущены в цилиндрический стеклянный сосуд, наполненный раствором серной кислоты (1 часть концентрированной кислоты и 10 частей воды).

Продолжая работы в области высоких напряжений Планте сконструировал «реостатическую машину», состоя-

¹ Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, t. 50 1860 p. 640.

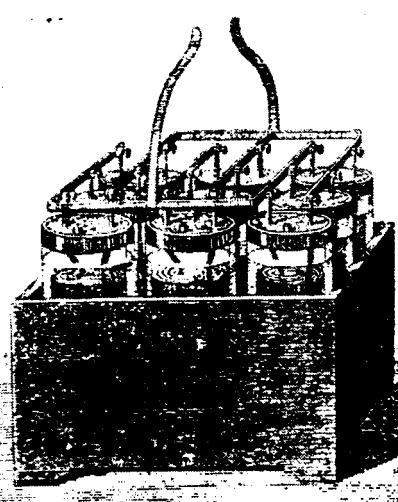


Рис. 1

щую в принципе из определенного числа конденсаторов, расположенных таким образом, что их можно заряжать параллельно и разряжать последовательно. С помощью реостатической машины Планте доказал, что между электричеством «статическим», получаемым от трения, и «гальваническим», получаемым от химической реакции, — нет никакой разницы.

Пользуясь аккумуляторной батареей из 800 небольших элементов и реостатической машиной, добившись напряжения свыше 100 000 В, Планте занялся изучением явлений атмосферного электричества. Свои выводы он опубликовал в книге «*Phénomènes électriques de l'Atmosphère*».

Вместе с тем Планте не прерывал работы над улучшением аккумуляторов. Убедившись, что холст, изолирующий электроды, под действием кислоты и перекиси свинца сравнительно быстро разрушается, создавая короткие замыкания, Планте в 1868 г. сконструировал вторичный элемент с плоскими пластинами. Свинцовые пластины чередующейся полярности, разделенные изолирующими прокладками, установлены в особых пазах по узким сторонам прямоугольного гуттаперчевого сосуда.

В 1872 г. для повышения емкости своих аккумуляторов Планте предложил так называемое формирование. Сущность процесса формирования заключалась в том, что после каждого заряд-разряда аккумулятор вновь заряжался и разряжался, но в обратном направлении. С каждым последующим зарядом количество активных веществ на пластинах увеличивалось, и емкость возрастала. Такое формирование длилось несколько месяцев и стоило очень дорого (первичный ток получался от гальванических элементов).

В своем докладе Академии наук³ «О применении вторичных токов для аккумулирования действия вольтаического элемента»⁴ Планте указал также основы применяемого ныне электрохимического формирования пластин большой поверхности (формирование Планте).

Изобретение Планте не получало широкой поддержки в технических кругах до тех пор, пока не появилась динамомашин, давшая возможность использовать для зарядки аккумуляторов сильные токи по сравнительно невысокой цене. Спрос на аккумуляторы значительно возрос в 1879 г. после изобретения Эдисоном лампочки накаливания.

К маю 1881 г., когда в Париже была открыта Международная электрическая выставка и проходил конгресс электриков, аккумуляторы Планте были уже настолько усовершенствованы, что применялись в качестве источника тока в электрическом трицикле и лодке Труве.

Но лишь после улучшений, внесенных в 1881—1882 гг. учеником Планте Камиллом Фором и Филиппаром, свинцовые аккумуляторы получили окончательное признание и начали употребляться в большом количестве, захватывая все новые области применения.

В настоящее время, не говоря об электростанциях и подстанциях, где изобретение Планте служит надежным источником электроэнергии для питания приемников постоянного тока и аварийным резервом, усовершенствованные аккумуляторы получили необычайно широкое распространение в автотранспорте, авиации, проволочной и беспроволочной связи. Ими пользуются в рудничных электровозах; они служат почти единственным источником

³ Comptes Rendus, t. 74, 1872, p. 592.

⁴ Планте первый применил термин «аккумулятор», «аккумулирование электрической энергии», получившие впоследствии всеобщее признание.



Гастон Планте 1834—1889

тока для приведения в действие подводных лодок в погруженном состоянии и т. д. Аккумуляторы проникли буквально во все уголки земного шара, и общая мощность работающих батарей достигла многих миллионов киловатт.

Имя Планте известно в анналах науки не только как изобретателя аккумуляторов. Ему принадлежат некоторые гипотезы в области астрофизики: о природе спиральных туманностей и солнечных пятен, составе солнца и т. п.

Некоторые из предвидений Планте получили впоследствии блестящее подтверждение.

В 1879 г., т. е. за два года до знаменитой речи Гельмольца, в которой тот упомянул об атомах электричества, Планте писал:

«Электричество или вообще электрические разряды представляют собой очень быстрое перемещение или перенос мельчайших весомых материальных частиц»⁵.

Планте был членом многих французских и иностранных научных обществ, много раз получал премии и награды, в том числе медаль им. Ампера, премию Лаказа и т. д.

Все свои средства он тратил на исследовательские работы. Премия Лаказа в 10 000 франков, большая золотая медаль им. Ампера и ордена, которыми его награждали, были переданы Планте Обществу вспомоществования нуждающимся ученым. Планте завещал Парижской академии наук фонд, доходы с которого каждые два года выдаются в виде премии французскому изобретателю или ученику, работающему в области электричества.

В апреле 1889 г., заканчивая работу о земном магнетизме, Планте почувствовал ослабление зрения, а 22 мая его не стало. Смерть унесла его на рабочем посту у приборов в лаборатории на Бельви.

⁵ Comptes Rendus. t. 88, 1879, 3/III, p. 442.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО НА МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ В НЬЮ-ЙОРКЕ

Электроэнергетика в выставочных павильонах СССР и США

В. Г. ВЕШНЕВ

В ЧИСЛЕ множества экспонатов, которые в советском павильоне Нью-Йоркской выставки отражают многогранную жизнь и великие достижения СССР, большое внимание уделено показу развития электрификации СССР.

Разумеется, что экспонаты лишь схематично воспроизводят небольшую долю всего того, что создано в этом отношении за 21 год советской власти, и особенно за годы сталинских пятилеток. На фоне противопоставления технически отсталой России и колоссальных масштабов работы в области индустриализации нашей страны и ее электрификации экспонаты демонстрируют модель Днепрогэса, а также Куйбышевского гидроузла в том виде, как он возникнет через несколько лет.

В павильоне, кроме того, представлены модели других объектов электрификации СССР.

Механизированный макет Днепрогэса и г. Запорожья, по размерам достигающий $1/400$ натуральной величины, занимает площадь в 50 м^2 . Он воспроизводит в масштабе трех измерений все сооружения вплоть до кранов, поднимающих щиты плотины. Пояснительные надписи дают описание гидростанции им. В. И. Ленина, плотины, мостов Днепровского гидроузла. Основные сооружения размещены в центре макета, на котором изображены масштабные модели красивых улиц, зданий и множество деталей вновь созданного Запорожья — одного из социалистических городов сталинской эпохи.

Панорама завершается перспективой, намечающей окружающую гидроузел природу и контуры отдаленных строений, в том числе — виднеющиеся цехи алюминиевого завода.

Размер макета Куйбышевского гидроузла составляет $1/500$ натуральной величины. На нем показаны земляная дамба и пересекающая Волгу плотина, над которой возвышается здание гидроэлектростанции. На правом берегу сооружен шлюз, пропускающий суда. На сверкающем алюминием макете, между красиво отделанными деревом берегами у плотины с шумом низвергается вода, и широко разливающаяся Волга теряется в перспективной дали.

Далее, на особом экспонате — электрифицированной и механизированной карте — воспроизводится предстоящий план гигантского строительства водных магистралей, каналов и гидростанций СССР, включая показ реконструкции Волги в третьей пятилетке. На карте приводится сравнительная характеристика состояния водных путей в дореволюционное время. Размер карты

$3 \times 5 \text{ м}$. На ее каркасе в закрытых матовым стеклом прорезях алюминиевых листов изображены реки и водные бассейны СССР.

Электрифицированная диаграмма стенда «Энергетика» рассказывает о том, как неизмеримо выросла за годы советской власти выработка в стране электроэнергии. Здесь перед посетителями выставки предстанут поразительные цифры: 1,9 млрд. kWh в 1913 г., 36,4 млрд. kWh в 1937 г. и 75 млрд. kWh в 1942 г. (по плану третьей пятилетки).

Эта демонстрация могучего роста энергетики сопровождается меняющимися фазами цветных потоков света. В последней фазе сквозь молочно-красный фильтр изображаются слова Ленина: «Коммунизм — это советская власть плюс электрификация всей страны».

Электрификация СССР отражена также на одной из других механизированных карт, показывающих рост индустриализации страны социализма. Чередующийся показ различных отраслей нашей промышленности сменяется на карте демонстрацией сети крупнейших электростанций Советского Союза.

Экспонаты зала «Сельское хозяйство», построены главным образом на контрастах старой и новой деревни. Они сопоставляют убожество, нищету и извечную эксплуатацию закабаленного крестьянина периода царизма с расцветом культуры колхозного села, в котором «лампочки Ильича» горят от своих электростанций, имеются киноустановки и т. п. В качестве одного из примеров достижений социалистического сельского хозяйства в этом зале показана производственная и бытная жизнь колхоза им. Ильича в Воронежской области, в котором уже в этом году вступит в строй вторая электростанция.

Энергетика СССР представлена и в ряде других отделов нашего павильона. Так, в зале «Гранпорт» в числе демонстрируемых моделей посетитель ознакомится с электровозами и картой электрифицированных ж.-д. путей, автоблокиркой и т. п. В одном из других зал грандиозной модели воспроизводит в натуральном оформлении и подлинных размерах отдельные секции станции метро «Площадь Маяковского».

На полотнах многих выдающихся художников нашей страны,красивших советский павильон на Нью-Йоркской выставке, в свою очередь, красками пересекающие реки плотины, гидростанции Днепрогэс и Рионгэс. Отдельно позиция работы художника Меркулова «Тула — электростанция».

Экспонаты американских электропредприятий. Роль электричества в промышленности и сельском хозяйстве особенно подчеркнута на Нью-Йоркской выставке в многочисленных павильонах и стендах предприятий различных отраслей американской индустрии.

Владельцы этих концернов так же, как и организаторы выставки задались целью поразить воображение зрителя не только необычайной тематикой показа «мира завтрашнего дня», но и ошеломляющим великолепием зрелищных эффектов. Такой замысел, явно рассчитанный на эффект капиталистической рекламы, неизбежно сказался и на экспонатах по электротехнике. Это обстоятельство служит причиной того, что наряду с показом на выставке многих достижений американской техники глазам посетителя больше всего представляются рекламные аттракционы, начиная от электрической бритвы новейшей конструкции вплоть до ослепительных вспышек света, видимого на расстоянии 30 км. Источником такого света, «равного по силе одному миллиону стовечных ламп», являются «сигналы космических лучей».

Интересен показ фирмы Вестингауз. В павильоне этого предприятия в числе других экспонатов демонстрируются научно-исследовательские работы и технический прогресс в области электричества на протяжении последних 50 лет.

В другом павильоне серия экспонатов научных лабораторий переносит посетителя в «лучший мир будущего», мир, в котором (по рекламному описанию) «корабли-ракеты» будут перелетать океан в несколько часов, в котором солнечный свет будет превращаться в электроэнергию. В этом мире станет излишним сельскохозяйственный труд, так как продукты питания будут вырабатываться на фабриках, минералы будут «добываться» из вод океана, а пароходы станут пересекать его, приводимые в движение атомной энергией, заключенной в стакане воды».

В павильоне фирмы Дженерал Электрик Комп. одной из основных тем показа служит электрификация в «мире будущего» в быту, в промышленности, в сельском хозяйстве. Любопытно, что в то время как на выставке преобладающей темой показа является индустриальная техника и крайне незначительно представлено «будущее» сельского хозяйства, многие из крупнейших промышленных предприятий избрали объектами для рекламирования своих изделий именно фермы, затратив большие деньги на их сооружение и оборудование.

Так например, фирма Файерстон соорудила целое поместье, изображающее «ферму завтрашнего дня» со скотом, амбарами, силосной башней и т. п. Целью этого показа является, конечно, демонстрация фермы «на резине», изготовленной заводами этого предприятия. Тракторы, плуги, телеги — все здесь «подковано» резиновыми шинами, что подчеркивает «облегчение сельскохозяйственного труда и достижение максимальной его эффективности». Механизированные модели и «оживающие» марионетки должны наглядно убедить в этом посетителя выставки.

Аналогично задумана и реклама молочных продуктов американских предприятий, например, Борден и Комп. На специально созданной «ферме

будущего» (со стадом в 150 коров) воспроизведены все производственные процессы, полностью электрифицированные, начиная от электродойки, которая производится на вращающейся платформе (ротолактор), вплоть до ресторана, которым завершается эта «ферма».

Другой тип такого рода электрифицированной «фермы будущего» создан для показа электроаппаратуры и электроприборов 175 компаний этой отрасли промышленности.

Ферма оборудована всеми представленными в натуре хозяйственными сооружениями. Жилой дом является центром этого экспоната. Кухня оборудована по последнему слову техники — электрическими печами, посудомойками и даже электровентиляторами не только охлаждающими воздух, но в то же время очищающими его от различных запахов кухни. Двухкамерный электрический холодильник — последняя новинка — предоставляет возможность быстрого замораживания в одной из его половинок мяса, фруктов, овощей и т. п., тогда как другая камера служит в качестве обычного ледника. Электрифицированная прачечная фермы расположена в первом этаже. Здесь экспонируются новейших типов стиральные машины, которые мочат, стирают, полощут, выжимают и сушат белье. В коровниках, на полу которых разложены для коров резиновые маты, показываются оборудованные стойла, электродойная аппаратура, машины для перемола и смешивания фуражи и т. п.

Далее там же демонстрируются коровы, уход за ними, «доильный салон будущего», электроаппаратура для очистки и пастеризации молока, а также весь последующий производственный процесс по выпуску готовой продукции, разливу в бутылки и охлаждению. В целом на «ферме» демонстрируется свыше 100 различных видов электроаппаратуры, применяемой в хозяйстве, включая инкубаторы для выводки цыплят, электропарники и специальную арматуру для освещения теплиц, ускоряющую произрастание овощей.

Интересны по замыслу и оригинальности выполнения 11 панорам — «волшебные пещеры льда», воспроизводящие в одном из павильонов историю развития холодильной промышленности. Эти объемные панорамы, создающие глубинность и перспективу, с помощью механизированных моделей демонстрируют методы охлаждения продуктов, применявшиеся от древнейших времен до наших дней.

Показ начинается с периода пещерной эпохи, когда первобытный человек подвешивал свою добычу со стороны северного ветра. Другая панorama изображает практиковавшиеся в Египте способы охлаждения посредством испарения воды в пористых сосудах, которые ночью ставили на крышах жилищ, использование римлянами горных снегов, хранение продуктов в колодцах и т. п. Последующие панорамы развивают перед зрителем дальнейший прогресс в этом направлении, заканчивая показ воспроизведением электрохолодильников и современных мощных рефрижераторных установок. Группа художников и скульпторов много потрудилась над тем, чтобы придать «жизнь» этим панорамам, которые изобилуют множеством макетов крошечных человеческих фигурок, столовых приборов (ножи и вилки дли-

ной в $1/2$ "), миниатюрной домашней обстановки, макетов различных пород деревьев, болтов, гаек, винтов ювелирной работы, крохотных электрических машин, электроустановок, водопроводных кранов, труб и пр.

В одном из предприятий, вырабатывающем электролампы, любопытным экспонатом является воспроизведение старинных методов их производства. Модели первых лампочек накаливания выдеваются в виде стеклянных груш, в которые вставляются нити накала. Весь этот процесс проделывается ручным способом в той же обстановке, как он совершился 60 лет назад в лаборатории Эдисона. Там же кинофильм демонстрирует современные методы производства электроламп.

Основные экспонаты павильона связи, отображающие по словам устроителей выставки «вызов времени и пространству», демонстрируют технические новинки в области телефонной и радиосвязи, телевидения и кино.

В здании, например, Американской радиокорпорации, сооруженном в виде лежащей половины грандиозной радиолампы, посетители выставки смогут ознакомиться с процессами производства образцов новейших изделий этого предприятия. Здесь же находится самая большая в мире действующая радиолампа высотой свыше 9 м и шириной около 3 м.

Посетителям этого павильона предоставлена также возможность пройти по полностью оборудованному «мостику океанского парохода». Помимо демонстрации на этом «мостике» новейшей навигационной аппаратуры, они с помощью радиокомпасов и других приборов смогут установить точные координаты своего местопребывания «теми же методами, как и штурман находящегося в дальнем плавании корабля».

В числе множества аттракционов, поражающих внешним зрелищным эффектом, представлено воспроизведение искусственных молний.

Фирма Дженерал Электрик Комп. демонстрирует в зале Штейнметца «самые мощные электрические разряды, которые когда-либо удавалось создать искусственным путем». «Ослепительные разряды при напряжении в 10 миллионов вольт образующие девяностометровую огненную ленту, почти не уступают естественной молнии и сопровождаются грохотом, схожим с подлинным громовым раскатом».

В павильоне этого предприятия можно ознакомиться с генератором, имеющим мощность, «равную мускульной силе миллиона людей».

В специальном «Доме магии» этого же концерна наряду с демонстрацией различных видов электроаппаратуры и показом серии электрооптических иллюзий демонстрируются работы научно-исследовательских лабораторий Дженерал Электрик Комп. В числе изобретений представлены сконструированный аппарат для «искусственного повышения температуры тела», электрический «нос», определяющий присутствие в воздухе опасных паров ртути, различная аппаратура автоматики и телемеханики для управления механизмами на расстоянии, новые типы электровозов и пр. В качестве научного аттракциона в павильоне организована телевизорная передача, в процессе которой посетители, находящиеся в разных концах здания, смогут не только видеть друг друга, но и разговаривать между собой.

Экспонаты многих павильонов иностранных государств из числа почти 60 стран, представленных на выставке, демонстрируют свои достижения в области электрификации в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в быту.

„Электрочудеса“ на выставке

Edison Electric Institute Bulletin № 3, 1939

Н. А. КАРАУЛОВ

СРЕДИ павильонов, связанных с электричеством и с историей его практического приложения, выделяются экспозиции: «Америка шагает вперед» и «Электрифицированная ферма». Павильон «Америка шагает вперед» в плане выполнен в виде буквы U и окружает живописную, озелененную деревьями площадку с изывающимися ручьем, цветочными клумбами и живыми изгородями. В одном из боковых крыльев павильона размещена «Улица вчерашнего дня»; в центральной части помещается «проспект завтрашнего дня», второе боковое крыло павильона вмещает «Зал ракеты» и комнату отдыха. По наклонной наружной поверхности стены третьего крыла павильона с высоты 12 м падает пелена воды в виде мощного живописного водопада. Перед па-

вильоном расположен огромный медный экран высотой 9 м и длиной 53 м, на котором изображены все стадии процесса генерирования электроэнергии: подземная до быва каменного угля, мощные турбогенераторы, установленные на электростанции, линии электропередачи и различные пределительные сети, питающие электроэнергией квартиры, учреждения, магазины, заводы, рудники и фермы.

Войдя в павильон, посетитель неожиданно переносится почти на 50 лет назад, попадая на освещенную газом улицу 1892 г. Перед ним проходят: театральный подъезд с рекламами, извещающими о постановке мелодрамы, кие тротуары и неровная булыжная мостовая, извозчики, пролетка и крытый фургон для развозки льда, паутины телеграфных проводов над головой, освещаемые га-

подъезды квартир и входы в тесные магазины. Сквозь окна видна внутренность комнат, освещенных газовыми рожками, со старинной мебелью и с семейными портретами в тяжелых золоченых рамках. Из окон раздаются скрипучие звуки музыки, исполняемой фонографом и шум веселой вечеринки.

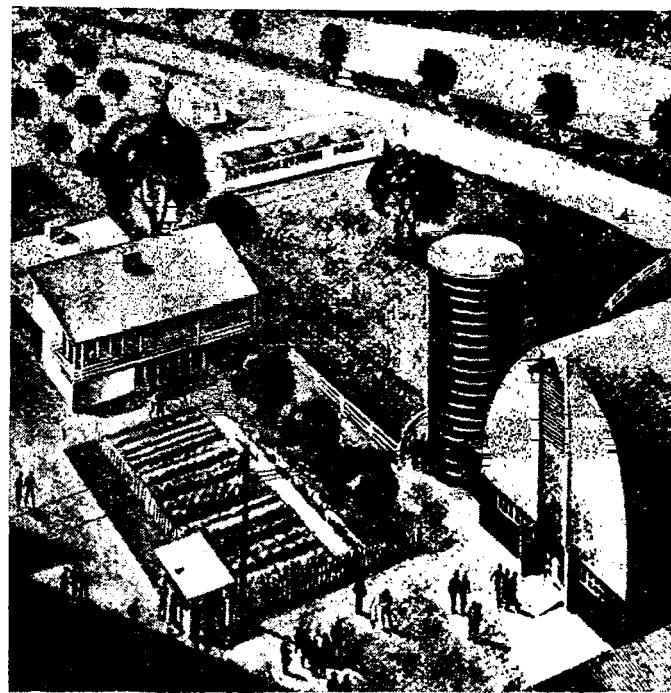
В конце улицы 1892 г. располагается контора электрической компании того времени, только недавно отпраздновавшей 10 лет своего существования. Контора рекламирует дешевые электрические лампы с угольной нитью и извещает о том, что эта молодая отрасль энергетики заэнерговала 40 000 потребителей. Освещение здесь уже электрическое. На стене видны портрет Т. А. Эдисона и цитата из его пророческих высказываний о триумфальном будущем электричества.

Выходя отсюда изогнутым затемненным коридором, посетитель окажется в обширном и ярко освещенном помещении конторы современной электрической компании, где широко и оригинально показано применение электричества в быту, торговле, промышленности, терапии и хирургии, авиации, на транспорте, в кино, телевидении, телерадио, телефонии, радио, для сигнальных и защитных световых маяков на земле, на море и в воздухе и многое другое. Через застекленные окна конторы посетитель идет простирающийся перед ним залитый светом «Проспект завтрашнего дня», а вдали в темноте сияющие вышине яркие огни небоскребов. Залитые светом витрины магазинов завтрашнего дня выполнены в новейшем стиле с широким применением стекла во всех видах. Витринах выставлены наряды, парфюмерия, косметика, веты, изделия Востока, книги, стеклянные и ювелирные изделия, электроизделия, предметы искусства и прочее, рече все витрины отражают прогресс, внесенный электричеством в каждую из представленных здесь отраслей производства.

Покинув этот отдел павильона, посетитель попадает в «Зал ракеты» — на самую замечательную площадку экспозиции. «Здесь все чары света, красок и звука слились спектакль несравненной красоты и мелодичности». Зрители стоят на кольцеобразной платформе, как бы висящей в пространстве; языки «пламени» охватывают площадку снаружи; слышны мелодичные звуки музыки; центре зала появляются светящиеся, пылающие газообразные массы, симфония света и красок в движении, из лубин которых через некоторое время неожиданно звивается вверх облако, светящее всеми цветами спектра; на высоте оно взрывается, осыпая присутствующих аскадом света и красок. Весь аттракцион выполнен предством электричества.

Из «Зала ракеты» посетитель попадает в зал отдыха, края которого выходят под водяную завесу водопада. Усть из павильона ведет сквозь самый водопад стеклянной трубой диаметром 5,5 м.

На «Электрифицированной ферме» показано более



100 применений электричества в сельском хозяйстве, включая некоторые новинки, еще не поступившие на рынок. Посетители видят расположенную на площади около 0,5 га ферму со всеми полностью оборудованными жилыми и служебными помещениями, со скотом, лошадьми, домашней птицей, со всеми другими даже малозначительными вещами, которые только можно ожидать увидеть на ферме. Экспонируется новая модель электрического холодильника с двумя камерами объемом около 0,8 м³: одна камера служит для быстрого замораживания продуктов, другая — для длительного их хранения. Посетители выставки могут наглядно видеть применение электричества в процессе ухода за скотом, при обработке молочных продуктов, на птичнике, в помещении для упаковки сельскохозяйственных продуктов, в теплице и в других сельскохозяйственных производственных процессах.

Кроме этих двух экспозиций, на выставке широко представлены электротехнические изделия, экспонируемые в павильонах электропромышленности США.

„Верно, что в СССР на душу населения производится меньше таких важнейших промышленных продуктов, как, скажем, чугун и электроэнергия, чем в Соединенных Штатах Америки и в Германии. Но, с другой стороны, неоспоримо и то, что технический уровень нашей промышленности уже выше, чем в любой стране Европы, а о сельском хозяйстве и говорить нечего — технический уровень нашего сельского хозяйства не ниже и самой Америки. А самое главное, что у нас окончательно окрепло молодое Советское государство, полное сил, здоровья и несокрушимого единства. Вот мы и думаем — пора и на арене международного экономического соревнования дать дорогу молодым, но уже окрепшим советским силам“.

Из доклада тов. Молотова на XVIII съезде ВКП(б).

БИБЛИОГРАФИЯ

В помещаемой ниже статье доц. Г. М. Махарадзе, заведующего кафедрой электрических машин Грузинского индустриального института им. Кирова, содержатся замечания по поводу некоторых недостатков отдельных учебников электротехники. В статье нет сколько-нибудь полного и подробного разбора рассматриваемых книг. Выбранные автором вопросы не являются главными и основными. Например, в некоторых книгах имеются такие (не нашедшие отражения в статье тов. Махарадзе) коренные дефекты как отсутствие глубокой трактовки теории круговой диаграммы, аналитического рассмотрения высших гармоник м. д. с., нестационарных режимов и др. Однако и указанные тов. Махарадзе недостатки ряда учебников представляют существенное значение что должно быть учтено в работе по созданию высококачественных учебников электротехники, стоящих вполне на уровне современной науки и техники.

Редакция

О НЕКОТОРЫХ ОШИБКАХ СТАБИЛЬНЫХ УЧЕБНИКОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Создание стабильных учебников для высших технических школ имеет весьма важное значение. Этому вопросу уделяется большое внимание правительство. К этой работе привлечены лучшие научные силы нашей страны, и мы уже имеем не мало прекрасно изданных учебников и руководств по отдельным дисциплинам.

К сожалению, не все учебники по отдельным дисциплинам стоят на должной высоте. Нередко в учебниках, в общем неплохих, мы встречаемся с ошибками большей или меньшей важности. Ошибки встречаются не только в учебниках, авторами которых являются молодые научные работники, но и в составленных авторами, имеющими большой научный и педагогический опыт.

Ниже рассматриваются некоторые вопросы, которые в ряде учебников электротехники освещаются неправильно.

Остановимся вначале на книге акад. К. И. Шенфера „Асинхронные машины“. Наряду с несомненными положительными качествами, в ней имеются дефекты, в частности, встречаются некоторые ошибки.

На стр. 26 последнего издания приводятся векторные диаграммы напряжений для катушечной обмотки разъемного статора (фигуры 28 и 29). Диаграммы эти приводятся на рис. 1 и 2.

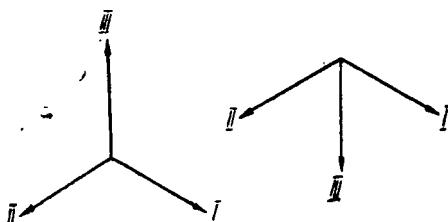


Рис. 1

Под несимметричной диаграммой имеется подпись „Векторная диаграмма напряжений при неправильном соединении катушек по схеме фиг. № 27“, в таком же смысле диаграмма трактуется и в тексте. Подпись под другой диаграммой — „Векторная диаграмма напряжений, соответствующая фиг. 27, для правильного соединения катушек“.

Фигуры 28 и 29 в книге акад. Шенфера не есть векторные диаграммы напряжений, так как векторные или потенциальные диаграммы напряжений при равных фазовых сопротивлениях приемника представляют симметричную звезду, а линейные напряжения, при последовательном построении линейных векторов напряжения, — правильный треугольник. Между тем, исходя из диаграммы учебника акад. Шенфера, можно заключить, что, якобы, линейные напряжения на неправильном соединении катушек обмотки составляют неправильный треугольник, а фазовые — неправильную звезду. Конечно, при неправильном расположении катушек двигатель будет забирать из сети несимметричный ток, нейтральная точка потенциальной диаграммы сместится, и фазовые напряжения не будут равны, но это отнюдь не значит, что при этом фазовое напряжение одной фазы изменит свою фазу на 180° (подразумевается, что сеть — бесконечно большей мощности).

Ошибка заключается в том, что фигуры 28 и 29 книги акад. Шенфера трактуются неправильно. На этих фигурах даны пространственные диаграммы индуктированных э. д. с. при круговом вращающемся поле, а не диаграммы напряжений, которые являются „временными“ диаграммами.

Существенные ошибки встречаются в учебниках при пояснении режима работы асинхронной машины в качестве генератора.

Рабочий процесс асинхронного генератора можно трактовать двояко.

Асинхронную машину в данном случае можно в отношении активного режима рассматривать в качестве генератора, а в отношении реактивного — в качестве потребителя реактивной энергии, так как для создания рабочего магнитного поля и полей рассеяния генератор потребляет из сети реактивную энергию ввиду того, что он не имеет собственного возбудителя. Асинхронный генератор потребляет отставшую реактивную энергию, так как сама обмотка представляет собой не что иное, как простую индуктивную катушку с железом.

Асинхронный генератор можно рассматривать как генератор в отношении обоих режимов — активного и реактивного. Такая точка зрения очень удобна, ибо тогда мы будем иметь дело с генератором вообще. При таком взгляде для правильной трактовки необходимо знак реактивной энергии изменить, иначе говоря, необходимо асинхронный генератор рассматривать как источник реактивной опережающей энергии. Таким образом нормально асинхронная машина при работе в качестве генератора отдает в сеть наряду с активной емкостной реактивной энергией.

Вышесказанное можно пояснить векторной диаграммой рис. 2. Как видно из диаграммы, активные составляющие токов I_1 и I_2 изменили свои фазы на 180° . В данном случае E'_2 не будет отставать от потока на 90° , а опережает его. Вычитая из вектора э. д. с. $E_1 = -E'_2$ падение напряжения в активном и реактивном сопротивлениях статора, получим напряжение на клеммах $U_1 = OC$. Ток I_1 опережает это напряжение на угол φ_1 . Отбрасывая часть векторной диаграммы для ротора, будем иметь упрощенную диаграмму для статора обычную для синхронной машины.

В книге проф. Б. П. Апарова, том I, „Машины переменного тока“ на стр. 194 дана векторная диаграмма (фиг. 15)

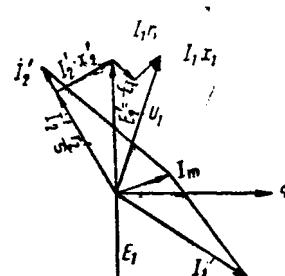


Рис. 2

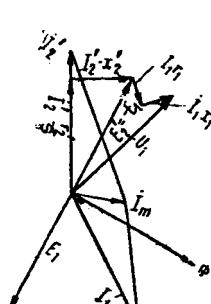


Рис. 3

асинхронного генератора. Диаграмма эта приведена на нашем рис. 3. На диаграмме угол сдвига между напряжением сети и током статора генератора φ , получается $> 90^\circ$, и ток отстает от напряжения. В той же книге на стр. 196 приводится векторная диаграмма параллельной работы асинхронного и синхронного генераторов (фиг. 154), где угол (тот же угол) получается меньше 90° .

Таким образом из объяснения проф. Апарова следует, что синхронный генератор отдает в сеть реактивный отстающий ток (или мощность), а между тем, как это было сказано выше, асинхронный генератор потребляет из сети отстающую реактивную мощность и он может отдавать в сеть только опережающую мощность.

В данном случае ошибка заключается в том, что для определения действительной фазы тока при рассмотрении асинхронного генератора в качестве генератора реактивной энергии необходимо находить угол не между напряжением сети и током генератора, как это сделано на фиг. 152 (книга проф. Апарова), а между напряжением генератора и током. Напряжение же генератора равно и противоположно напряжению сети. Это положение ясно иллюстрируется на рис. 2.

Указывается также, что асинхронный генератор в сети ухудшает $\cos \varphi$ синхронного генератора. Это совершенно правильно, но ухудшение $\cos \varphi$ происходит не в сторону опережения тока, а в сторону отставания, так как сам по себе асинхронный генератор является потребителем реактивной отстающей энергии и эту энергию должен вырабатывать синхронный генератор, поэтому он должен иметь отстающий $\cos \varphi$.

Из изложенного ясна ошибочность диаграммы на фиг. 155 книги проф. Апарова и фиг. 158 — акад. Шенфера.

Понятие реактивной энергии того или другого характера в других учебниках излагается неправильно, в частности, в книге проф. В. И. Иванова "Синхронные машины".

В параграфе "Синхронные компенсаторы", стр. 223, читаем: В этом случае синхронный компенсатор работает всегда перевозбуждением, посылая в сеть емкостный ток, компенсирующий ток индукционных двигателей". Необходимо отметить, что перевозбужденный компенсатор посыпает сеть не емкостный ток, а индуктивный, который идет на окрытие нужд индуктивных двигателей. Принцип баланса мощности требует, чтобы для покрытия мощности какого-либо характера где-то вырабатывалась подобная мощность. Сди перевозбужденный компенсатор рассматривать как потребитель реактивной энергии, то он из сети будет брать искостный ток. Этот ток геометрически складывается током нагрузки индуктивных двигателей и дает ток, почти совпадающий с напряжением. В таком понимании можно говорить о компенсации током компенсатора тока индуктивной нагрузки.

В данном случае генератор будет отдавать исключительно активный ток (конечно, если компенсатор установлен у потребителя). Если компенсатор рассматривать в качестве генератора реактивной энергии, то тогда геометрически складывать ток индуктивных двигателей и компенсатора нельзя, так как эти два тока имеют различный характер. В данном случае ток компенсатора геометрически нужно сложить током генератора, который поступает из сети; тогда ток индуктивной нагрузки будет равняться геометрической сумме токов компенсатора и генератора, причем ток $I_{ком}$ от напряжения сети будет отставать.

Остановимся еще на одном вопросе, который во многих учебниках трактуется неправильно.

Рассмотрим описание рабочего процесса однофазного двигателя в учебниках акад. Шенфера и проф. Апарова.

Описание рабочего процесса базируется на известном изложении однофазного пульсирующего поля на два взаимно противоположных вращающихся поля. Против этого разложения, конечно, ничего нельзя возразить, оно верно для определения результирующего момента, но вообще это разложение неправильно.

Действительно, вектор однофазного поля или однофазного тока можно согласно теории симметричных составляющих изложить на три симметричные составляющие: положительного, отрицательного и нулевого чередования. Система токов положительного чередования создаст индукции в отдельных зонах:

$$B_{tx_1}^I = B_m^I \sin \omega t \cos px,$$

$$B_{tx_2}^I = B_m^I \sin (\omega t - 120^\circ) \cos (px - 120^\circ),$$

$$B_{tx_3}^I = B_m^I \sin (\omega t - 240^\circ) \cos (px - 240^\circ).$$

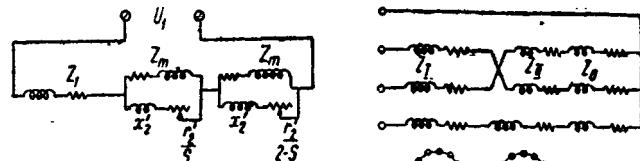


Рис. 4



Рис. 5

Результирующая индукция положительного чередования:

$$B_{tx}^I = \frac{1}{2} B_m^I \sin (\omega t - px).$$

Фактически ток существует только в одной фазе —

$$I_b = I_c = 0; I_a = i_a.$$

Поэтому симметричные составляющие токов будут:

$$i_{a_0} = i_{a_1} = i_{a_2} = \frac{i_a}{3}.$$

Следовательно,

$$E_m^H = B_m^H = \frac{B_m}{3}.$$

Аналогично предыдущему можно доказать, что система токов отрицательного чередования создает вращающееся поле обратного вращения:

$$B_{tx}^{II} = B_{tx_1}^{II} + B_{tx_2}^{II} + B_{tx_3}^{II} = \frac{3}{2} B_m^H \sin (\omega t + px).$$

Так как

$$B_m^H = B_m^{II} = \frac{B_m}{3}, \quad B_{tx}^I = \frac{B_m}{2} \sin (\omega t - px),$$

$$B_{tx}^{II} = \frac{B_m}{2} \sin (\omega t + px).$$

Токи нулевого чередования дают только потоки рассеяния вокруг отдельных обмоток и в создании вращающегося момента не участвуют.

Результирующее поле, которое создает вращающий момент

$$B_{tx} = \frac{B_m}{2} \sin (\omega t - px) + \frac{B_m}{2} \sin (\omega t + px).$$

Таким образом в отношении создания результирующего поля получается тот же результат, что и при простом разложении пульсирующего поля на два противоположно вращающиеся поля. Но фактически картина рабочего процесса, а также эквивалентная схема будет совершенно другая. Ток в статоре не будет равняться только сумме токов положительного и отрицательного чередования, а сумме трех токов:

$$i_0 = i_{a_1} + i_{a_2} + i_{a_0}; \quad i_b = i_{b_1} + i_{b_2} + i_{b_0} = 0; \\ i_c = i_{c_1} + i_{c_2} + i_{c_0} = 0.$$

Так как ток положительного чередования определяется уравнением:

$$i_{a_1} = \frac{U_1}{Z_1 + Z_{II} + Z_0},$$

эквивалентная схема должна выглядеть не так, как она дана (рис. 4) в книгах акад. Шенфера (фиг. 226) и проф. Апарова (фиг. 236 и 237), а так, как она показана на рис. 5.

Части схемы (рис. 5) для положительного и отрицательного чередования перекрещены (сопротивления Z_1 и Z_{II}). Кроме того, последовательно с этими двумя сопротивлениями включается сопротивление нулевого чередования, величина которого равна сопротивлению статорной обмотки машины. Кроме того, чтобы могли существовать токи нулевого чередования, необходимо иметь нулевой провод.

Чтобы подчеркнуть важность ошибки в данном случае, необходимо отметить, что ток в обмотке статора не будет определяться выражением:

$$I_a = \frac{U_1}{Z_1 + \frac{Z_m \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right)}{r_2'} + \frac{Z_m \left(\frac{r_2'}{r-s} + jx_2' \right)}{r_2'}},$$

как это следует из схемы фиг. 237 книги проф. Апарова или фиг. 226 — акад. Шенфера, а будет равняться:

$$I_a = \frac{3U_1}{3Z_1 + \frac{Z_m \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right)}{Z_m + \frac{r_2'}{s} + jx_2'}} + \frac{Z_m \left(\frac{r_2'}{2-s} + jx_2' \right)}{Z_m + \frac{r_2'}{2-s} + jx_2'}.$$

Нужно остановиться также на одной ошибке книги проф. К. А. Круга „Основы электротехники“, том II. Теория переменных токов, третье переработанное издание. В главе о несимметричной нагрузке трансформаторов, в параграфе 110, на стр. 325 рассмотрен случай соединения Δ/Y и однофазной нагрузки. Там выводится, что при такой нагрузке токи в первичной обмотке будут:

$$I_1' = \frac{2}{3} I_2; \quad I_1'' = I_1''' = -\frac{1}{3} I_2.$$

Этот результат неправилен.

Рассмотрим общий случай несимметричной нагрузки (рис. 6).

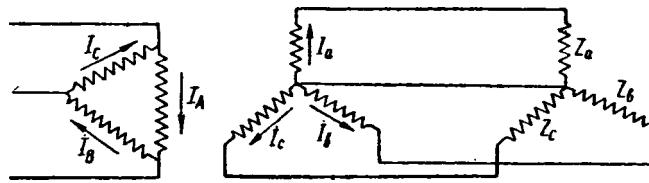


Рис. 6

Токи I_2', I_2'', I_2''' (вторичные) расположим так, чтобы:

$$I_2' = I_a + \frac{i_0}{3},$$

$$I_2'' = I_b + \frac{i_0}{3},$$

$$I_2''' = I_c + \frac{i_0}{3},$$

причем

$$I_a' + I_b' + I_c' = 0.$$

Токи $\frac{i_0}{3}$ во всех трех фазах по фазе совпадают и они циркулируют через нейтраль. Трансформируясь, эти токи в первичной обмотке создают аналогичные токи, которые

замыкаются в треугольнике. Токи I_a', I_b', I_c' вызывают такие же токи в первичной обмотке:

$$I_A' = -I_b'; \quad I_B' = -I_c'; \quad I_C' = -I_a'.$$

Обозначим через U_1', U_1'', U_1''' первичные напряжения и через U_2', U_2'', U_2''' вторичные, тогда:

$$U_1' - \left(I_A' + \frac{i_0}{3} \right) Z_k = -U_2',$$

$$U_1'' - \left(I_B' + \frac{i_0}{3} \right) Z_k = -U_2'',$$

$$U_1''' - \left(I_C' + \frac{i_0}{3} \right) Z_k = -U_2'''.$$

Z_k — импеданс короткого замыкания. Для вторичной обмотки:

$$U_2' - \left(I_0' - \frac{i_0}{3} \right) Z_a = 0,$$

$$U_2'' - \left(I_0'' - \frac{i_0}{3} \right) Z_b = 0,$$

$$U_2''' - \left(I_0''' - \frac{i_0}{3} \right) Z_c = 0.$$

Z_a, Z_b, Z_c — нагрузочные импедансы.

Решая эти уравнения, получим для первичных токов:

$$I_1' = I_A' + \frac{i_0}{3} = \frac{U_1}{Z_k + Z_a},$$

$$I_1'' = I_B' + \frac{i_0}{3} = \frac{U_1}{Z_k + Z_b},$$

$$I_1''' = I_C' + \frac{i_0}{3} = \frac{U_1}{Z_k + Z_c}.$$

При однофазной нагрузке

$$Z_b = Z_c = \infty,$$

получим:

$$I_1' = \frac{U_1}{Z_k + Z_a}, \quad I_1'' = I_1''' = 0,$$

т. е. нагружена будет одна фаза, а две остальные будут работать вхолостую, в то время как в книге проф. Круга указывается загруженность всех трех фаз.

Перечисленные нами некоторые ошибки в учебниках являются важными и могут ввести изучающих в заблуждение при анализе того или другого сложного явления.

Необходимо в дальнейшем при переиздании книг все ошибки учесть. Кроме того, пора ряд других вопросов, которые в учебниках освещаются старыми методами, осветить более современно и достаточно полно.

Г. М. Махарадзе

А. И. КРИЧКО. Тяговая электроаппаратура. Машгиз, 1938. Тираж 4000 экз. Цена 5 р. 25 к.

Тяговая электроаппаратура является существенной частью сложного комплекса оборудования электроподвижного состава, и давно назрела потребность в книге, описывающей все разновидности тяговых электроаппаратов, их конструирование, испытание, производство и эксплуатацию. Появление в свет такой книги должно существенно облегчить изучение этой области электроподвижного состава как студентам электротранспортных вузов, так и инженерам промышленности.

Рассматривая с этой точки зрения книгу А. И. Кричко, следует прежде всего отметить, что как по объему разобранных в ней материалов, так и по характеру изложения она разрешает поставленную проблему лишь частично.

Несмотря на широкий заголовок, определяющий, лось бы, программу книги, в ней рассматривается та часть тяговых аппаратов, работающих на постоянном токе (главным образом контроллеры и выключатели). Остальные же многочисленные и особые по физическим основам действия аппараты лишь частично и кратко описываются при разборе конструкций. Амперы переменного тока совершенно не рассматриваются.

Однако приведенные соображения не лишают определенной ценности. Прежде всего она являетсявой попыткой в мировой литературе создать книгу этой отрасли техники. Кроме того, она подводит первого этапа работы завода «Динамо» им. Кирсанова к освоению и дальнейшему усовершенствованию не-

тговых аппаратов и дает о них ценные опытные данные. В частности, особо следует отметить интересную главу о приводах, которая отражает большую работу звода по систематизации их расчета.

Все это дает основание приветствовать появление книги А. И. Кричко, учитывая вместе с тем, что ею не снимается вопрос о разработке полного учебника по тяговому аппаратуру. Поэтому детальное рассмотрение дефектов книги необходимо не только для более подробной ее характеристики, но и для дальнейшей работы по созданию нового учебника, который, несомненно, должен быть результатом творчества коллектива авторов.

Дефекты книги главным образом проистекают из общей недоработки текста, которая проявляется в небрежности изложения, неточности определений и формулировок, противоречивости отдельных мест и т. д.

Прежде всего необходимо отметить неполноту и недоработанность классификации аппаратов, которая исключает из рассмотрения ряд важнейших аппаратов, дает иногда противоречивые и неясные определения.

На стр. 43 сказано, что пришлифованный линейный контакт относится к плоским, а на стр. 51 доказывается, что такой контакт следует отнести к линейным.

На стр. 236 говорится, что камеры при номинальном напряжении не смогут выключить длительного тока, а на стр. 95 и 98 совершенно правильно утверждается, что камеры должны рассчитываться на разрыв длительного тока и выключать ток в 10 раз больший длительного.

На стр. 115 написано, что негативный контакторный элемент применяется только при небольших мощностях, на стр. 118 даются указания о проектировании этого же контакторного элемента при больших мощностях (?), наконец, на стр. 260 конструкция такого мощного контакторного элемента... описывается. Кроме того, известно, что эти контакторные элементы на электровозах переменного тока применяются для токов в несколько тысяч ампер.

Исключительно редакционной небрежностью объясняется отсутствие в книге списка дополнительной литературы и первоисточников, а также неожиданное прекращение начатой в начале книги нумерации формул.

Неудачен ряд терминов, применяемых в книге, например: «мощность контактов» вместо «допустимой токовой нагрузки контактов» или «сила контактов» вместо «контактного давления».

Перечень дефектов книги необходимо закончить разбором ряда неправильных, а также спорных и недоказанных положений.

На стр. 113 говорится, что при подъеме ролика фиксатора накапливается кинетическая энергия. В действительности накапливается потенциальная энергия.

На стр. 165 коэффициент возврата определяется как «отношение ординат моментов выключения к моментам включения, выраженное в ампервитках». Правильно его определять как отношение ампервитков отпадания к ампервиткам притяжения.

На стр. 80 говорится, что падение напряжения в дуге во время гашения должно быть больше $(U - IR)$ при быстром выключении цепей с большой индуктивностью. В действительности это условие должно быть выдержано во всех случаях.

На стр. 78 динамическая характеристика дуги переменного тока ошибочно названа статической.

На стр. 103 неверно утверждается, что ручной привод применяется только для аппаратов, имеющих напряжение ниже 750 В, хотя известно, что аппараты этого типа строятся на все напряжения.

Наконец, неверно, что восстановление реле перегрузки должно происходить на первой позиции контроллера (стр. 16). Как правило, оно производится на нулевой позиции.

К числу спорных и недоказанных положений следует отнести в первую очередь утверждение на стр. 95 и 97, что разрывная мощность камеры больше при серийном включении катушки магнитного дутья, чем при шунтовом включении ее. Также нельзя категорически утверждать, что при увеличении длины дуги перенапряжения всегда увеличиваются (стр. 86), так как перенапряжения зависят не только от длины дуги, но и от градиента напряжения в ней.

Отмеченные дефекты книги подтверждают сделанную выше характеристику ее и одновременно позволяют сделать вывод о круге лиц, которым эта книга может быть рекомендована.

Читатель этой книги должен быть безусловно знаком с основами электроаппаратостроения и основными тяговыми электроаппаратами. Такой читатель сам сумеет отсеять все дефекты изложения и использовать довольно богатый материал, собранный в книге. Начальное же, а тем более самостоятельное изучение тяговой аппаратуры по этой книге будет затруднительно.

Бригада кафедры электролокомотивостроения Московского энергетического института им. Молотова: Д. К. Минов, Б. П. Петров, А. Д. Степанов, Н. М. Федоров

Я. Л. МИХЕЛИС. Ртутные выпрямители. Трансжелдориздат. Москва. 172 стр., 1939, тираж 3000 экз. Цена 4 р. 50 к.

Рецензируемая книга принадлежит перу одного из инженеров цеха ртутных выпрямителей завода «Электрсила» им. Кирова. Описательная часть книги почти целиком посвящена советским металлическим выпрямителям. Для сравнения на 2—3 страницах приведены конструкции выпрямителей фирмы Броун-Бовери, да и то устаревших типов. Кроме этого, небольшая третья глава отведена стеклянным выпрямителям, получившим распространение на тяговых подстанциях в качестве зарядных агрегатов аккумуляторных батарей.

Согласно аннотации издательства книга рассчитана, главным образом, на персонал тяговых подстанций, и этим, очевидно, можно объяснить краткость сведений о мощных выпрямителях на 5000 А, применяемых в электротехнической промышленности.

Книга предполагает введение, в котором дается известная формула к. п. д. цилиндра ртутного выпрямителя как функции выпрямленного напряжения. На основании этого показываются техно-экономические преимущества ртутных выпрямителей по сравнению с вращающимися преобразователями. Однако этот вопрос рассматривается несколько односторонне. Во-первых, не указано, почему равен общий к. п. д. ртутно-выпрямительного агрегата, состоящего из самого выпрямителя, главного трансформатора, потенциал-регулятора и других индуктивностей цепи питания, а также вспомогательного оборудования (система возбуждения, сеточное управление и т. п.). Очевидно, что потери в цепи питания не учитывались.

Видно, учет потерь мощности в этих элементах отразится на уменьшении к. п. д. агрегата. Во-вторых, не сказано, с какого значения выпрямленного напряжения применение ртутных выпрямителей представляет безусловные выгоды. Между тем считается установленным, что если необходимо потребителю выпрямленное напряжение ниже 350 В, то преимущество следует отдавать мотор-генераторам, в особенности, если дело идет о больших величинах тока, например электролиз магния.

В первых двух главах освещаются физические процессы в ртутном выпрямителе и связанные с ними явления. Однако этому вопросу не удалено достаточного внимания.

Изложение основ физики ртутных выпрямителей дается в чрезвычайно сжатом виде, языком справочника, рассчитанного на подготовленного читателя.

Далее, не дано исчерпывающего объяснения разницы между явлениями у катода газотрансона и у катода ртутного выпрямителя. Встречаются термины и понятия, которыми автор пользуется, не разъясняя их. К таким понятиям можно отнести «тлеющий разряд», «обратное напряжение». Смысл слова «денионизация» вскрывается лишь в главе VI, на стр. 103. В одном месте допущено неоправданное противоречие. На стр. 26 сказано, что «обратный ток растет с увеличением обратной полуволны напряжения», а чуть выше, на стр. 23, автор утверждает нечто противоположное: «Особенностью ионного тока (т. е. об-

ратного тока.—Г. Ц.) является его очень малая зависимость от величины обратного напряжения».

Вопросы теории разбираются также в главах V—«Схема питания металлического ртутного выпрямителя» и VI—«Ртутные выпрямители с управляющими сетками».

Общие проблемы теории питания изложены хотя и скжто, но с достаточной ясностью. Автор подробно рассматривает наиболее распространенную схему звезда—две обратные звезды с катушкой Кюблера. Очень мало сказано о коэффициенте мощности.

Так как управляемые выпрямители сравнительно недавно стали внедряться на преобразовательных подстанциях, то автор должен был бы несколько шире осветить принцип сеточного регулирования. Например, следовало бы дать точное определение сущности сеточного тока, объяснить назначение сопротивления в цепи катода сеток и т. п.

Остальные пять глав рецензируемой книги отведены собственно конструкциям, монтажу и эксплуатации металлических ртутных выпрямителей. Эти страницы являются весьма ценными для читателя. Сведения и материалы, приводимые автором, дают полное представление о состоянии советского выпрямительстроения за последние годы. Имеются некоторые данные и о мощных выпрямителях; разрез такого выпрямителя показан в последней модификации. Описаны новейшие конструкции масляного насоса и аппаратуры циркуляционного охлаждения. Вопросы эксплуатации выпрямительных установок нашли довольно широкое отражение в соответствующих

разделах книги. Эксплоатационному персоналу подсказаны ряд практических советов. Наконец, описаны некоторые характерные случаи неисправностей в работе ртутных выпрямителей.

Заключительные главы (IX и X) посвящены испытаниям и измерениям в установках с ртутными выпрямителями и технике безопасности. Здесь следовало бы добавить указания об определении общего к. п. д. ртутно-выпрямительного агрегата.

В конце книги приложены «Правила по технике безопасности в установках с металлическими ртутными выпрямителями», утвержденные еще десять лет назад и требующие коренной переработки.

В книге отсутствуют данные о допустимых перегрузках ртутных выпрямителей, в то время как этот вопрос имеет актуальное значение для практики эксплуатации.

Нет в книге также сведений о перенапряжениях и вызываемых ими авариях ртутных выпрямителей.

Кроме того, на стр. 107 приведена уже устаревшая схема сеточной защиты с барьерными разрядниками, от которой завод «Электросила» давно отказался.

Книга инж. Михелиса может служить хорошим справочным пособием эксплоатационному персоналу подстанций электротяги и промышленности, знакомому, в основном, с элементами теории ионных преобразователей. В последующем издании книги необходимо устранить отмеченные отдельные недочеты.

Г. К. Цверава

НОВЫЕ КНИГИ

Абрагам-Беккер. Теория электричества. Перевод под ред. Т. П. Кравца. Изд. 2-е, испр. Т. И. Введение в теорию электричества Максвелла. Л.—Ред. техн.-теорет. лит-ры, 1939, 260 стр. с чертеж. Ц. 4 р. 25 к., перепл. 1 р. 25 к.

Автоматика и телемеханика в рудничном транспорте. Отв. ред. А. А. Скочинский. М.—Л. Изд. Академии наук СССР, 1939, 180 стр. Ц. 8 р. 50 к.

Автоматизация врубовых машин и дистанционное управление механизма забоя. (Доклад бригады под руководством акад. А. Т. Терпигорева). Отв. ред. акад. А. А. Скочинский. М.—Л. Изд. Академии наук СССР, 1939, 56 стр., Ц. 3 руб.

Автоматизация шахтных подъемных установок. Под ред. Б. А. Розентретер. Отв. ред. акад. А. А. Скочинский. М.—Л. Изд. Академии наук СССР, 1939, 136 стр. Ц. 7 р. 50 к.

Автоматическая аппаратура. Краткое описание аппаратов, разработанных лабораторией электр. систем и автоматики ВЭИ. Сост. под ред. В. Г. Бирюкова и проф. С. А. Лебедева. Л.—М., Госконтора спрашочников и каталогов, 1938, 40 стр. с иллюстр. Ц. 1 р. 75 к.

Баркхаузен Г. Электронные лампы и их применение в технике. Т. III. Обратная связь. Самовозбуждение (генерирование колебаний). Компенсация затухания. Перевод под ред. проф. Н. А. Никитина. М. Связьрадиоиздат, 1938, 152 стр. со схем. Ц. 3 р. 60 к., перепл. 1 руб.

Власов В. Ф. Электронные приборы. Краткий курс. Л. Изд. ВЭТА, 1939, 93 стр. с чертеж. Ц. 3 р. 35 к.

Галкин Ю. М. Пособие к курсу электротехники. Электромагнетизм (в единицах практ. системы). Изд. 2-е (Воен. акад. механизации и моторизации РККА им. Сталина). М. 1938, 24 стр. с чертеж. Ц. 1 р. 30 к.

Гордеев С. В. и Грушин О. Ф. Масляные выключатели и приводы к ним. Конструкции и сборки. Под ред. инж. С. А. Красногородцева. Л.—М., Машигиз, 1939, 200 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 4 р. 50 к., перепл. 75 коп.

Дорофеев С. В. Стакановские методы работы в Московской кабельной сети Мосэнерго. М.—Л. Ред. энергет. лит-ры, 1939, 40 стр. Ц. 50 коп.

Кабельная промышленность. Сборник общесоюзных стандартов и стандартов главка. Изд. 2-е. Сост. Д. С. Бачелис. Л.—М., Каталогиздат, 1939, 324 стр. с чертеж. и табл. Ц. 20 руб.

Каменский А. Е. Опыт безаварийной экспло-

атации электрооборудования ГРЭС (№ 4 Кашира). М.—Л. Ред. энергетич. лит-ры, 1938. 19 стр. Ц. 60 к.

Китаев Е. В. Электротехника. Главн. упр. учеб. заведений НК связи СССР. Учебник для техников связи. Изд. 2-е. М., Связьиздат, 1938, 489 стр. с иллюстр. и чертеж. Ц. 8 руб., перепл. 1 р. 50 к.

Котельников А. К. и Тепер Д. Я. Новый метод расчета линий передачи электрической энергии с учетом влияния трансформаторов (Н.-и. сектор Одесского индустриальн. института), 1938, 26 стр. с чертеж. Беспл.

Попов В. К., проф. Применение электродвигателей в промышленности. Ч. 3. Выбор типа электрического привода. Л.—М., Главн. ред. энергет. лит-ры, 1939, 311 стр. с иллюстр. Ц. 6 р. 25 к., перепл. 1 р. 50 к.

Рабочее изобретательство в энергомашиностроении (Описание реализованных изобретений. Темы для изобретателей. Под общ. ред. Т. Д. Белькинда и М. О. Байвеля). Л.—М., Госконтора спрашочников и каталогов, 1938, 148 стр. с иллюстр. Беспл.

Ривлин Л. Б. Заводской электромонтер по обслуживанию электродвигателей. Перевод с 5-го изд., специально испр. и доп. для учр. изд. Утвержден ГУУЗ НКТП СССР как учебник для курсов техминимума. Харьков, ДНТВУ, 1939, 288 стр. с иллюстр. Ц. 4 руб., перепл. 75 коп.

Руководящие указания к применению железных проводов в установках сильного тока (проект составлен под руководством М. А. Шателена). М., Главэнерго, 1938, 16 стр. с чертеж. Ц. 40 коп.

Руководящие указания по снижению расхода электроэнергии на собственные нужды тепловых электростанций. Изд. 2-е. сост. техн. отд. Оргрэс. М.—Л., Ред. энергетич. лит-ры, 1939, 56 стр. с чертеж. Ц. 75 коп.

Сборник научных работ. Электротехническая специальность (Днепропетровск. Институт инженеров транспорта им. Л. М. Кагановича. Вып. IX), 1938, 162 стр. с иллюстр. Ц. 2 руб.

Селезнев Н. Н. Счетчики реактивной энергии и методы их поверки. Под ред. С. Ф. Малин (Гл. упр. мер и весов НКВД СССР). М.—Л., Каталогиздат, 1939, 72 стр. с чертеж. Ц. 2 р. 25 к.

Стакановская рационализация в иэс (ионных и коммутационных цехах). Сборник сп. М. Главэнергопром, 1939, 40 стр. с чертеж. II. 1 п.

Труды I Всесоюзного совещания по высоковольтной аппаратуре (Всес. науч. инж.-техн. о-во энергетики и электросвязи ВНИТОЭ). Л. 1938. 240 стр. с иллюстр. Беспл.

Хомяков Н. М., инж. Электрооборудование корабельных рулевых устройств. Теория, расчет, схемы. М.-Л., Военно-морск. изд., 1939, 228 стр. с чертеж. Ц. 3 р. 65 к.

Чечик П. О. Электроизолирующие материалы. М., Связьиздат, 1939, 20 стр. с чертеж. Ц. 30 коп.

Эксплоатация измерительных приборов.

Сост. электроцехом Оргрэс, М.-Л., Ред. энергет. лит-ры, 1939, 48 стр. с чертеж. Ц. 60 коп.

Электрическая изоляция. Сборник материалов. Отрасль бюро тех. информации Главэлектропрома Наркомаши (при ВЭИ) М., 1938. Вып. II. Сост. под ред. Б. М. Вула и В. С. Квашнина. 176 стр. с иллюстр. Ц. 5 р. 50 к., перепл. 1 р. 25 к.

Энергоснабжение. Сост. Е. М. Зайденшнер, Б. Г. Жданов, В. М. Маранчан и др. М., Гос. Трансжелдориздат, 1939. 432 стр. с чертеж. (Московский мегрополитен им. Л. М. Кагановича). Ц. 13 руб.

РЕФЕРАТЫ

ИЗ РАБОТ СОВЕТСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ *

Л. М. Шильдинер. Всесоюзный электротехнический институт. Новый вариант улучшения коммутации однофазного сересного коллекторного двигателя на 50 Hz.

Предлагаемая схема улучшения коммутации схематически изображена на рис. 1.

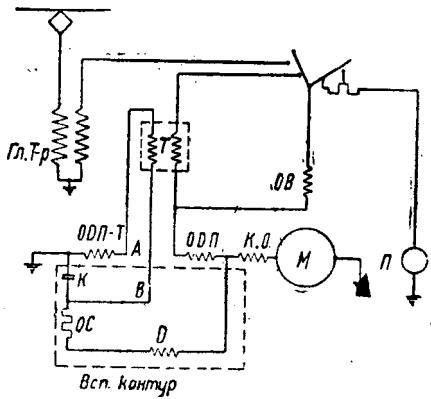


Рис. 1.

В — обмотка возбуждения главных полюсов; М — якорь; КО — компенсационная обмотка; ОДП-Т — сересная катушка дополнительного полюса; ДП-Т — добавочная катушка; К — конденсатор; Д — дроссель; Т — вспомогательный трансформатор; П — источник постоянного тока

Для математического доказательства возможности автоматического¹ изменения индукции B_d под дополнительными полюсами с помощью рассматриваемого контура воспользуемся методом суперпозиции и рассмотрим следующие два случая.

$i_1 = 0$ и при этом действует приложенное напряжение U_b (точки А и В); $\dot{U}_{b1} = 0$ и действует лишь \dot{E}_r — э. д. с. вращения двигателя.

Для каждого случая в отдельности определяется ток в цепи вспомогательной катушки ОДП-Т. Сумма их, как известно, и есть действительное значение тока в рассматриваемой катушке дополнительного полюса.

Принимаем:

$i_1 = jx_1$ — приведенное индуктивное сопротивление² добавочных катушек дополнительных полюсов (определенное всем потоком, сцепленным с катушкой ОДП-Т);

$-jx_c$ — емкостное сопротивление в контуре;

В этом разделе рефератов печатаются краткие извлечения из оригинальных работ советских инженеров и научных работников, фамилии авторов работ указаны в начале каждого реферата.

¹ „Электричество“ № 13, 1937 „Улучшение коммутации однофазного сересного коллекторного двигателя нормальной потоки“.

² Омическим сопротивлением этой катушки пренебрегаем.

$Z_2 = jx_2$ — индуктивное сопротивление дросселя D (сюда включается также индуктивное сопротивление якоря двигателя, соответствующее рассеянию);

$Z_3 = R_2$ — омическое сопротивление в контуре;

\dot{U}_{b1} — приложенное к контуру напряжение;

\dot{E}_r — противоэлектродвижущая сила, включаемая в контур.

Допускаем, что $x_1 = x_2 = x_c$.

$$i_1' = \frac{\dot{U}_{b1}}{Z_1 + \frac{Z_2 + Z_3}{Z + Z_2 + Z_3}} = \frac{\dot{U}_{b1}(Z + Z_2 + Z_3)}{ZZ_1 + (Z + Z_1)(Z_2 + Z_3)} \quad (1)$$

и при $\dot{U}_{b1} = 0$

$$i_1'' = \frac{\dot{E}_r Z}{ZZ_1 + (Z + Z_1)(Z_2 + Z_3)}. \quad (2)$$

Поэтому ток в цепи дополнительной катушки ОДП-Т

$$i_1 = i_1' + i_1'' = \frac{\dot{U}_{b1}(Z + Z_2 + Z_3) - \dot{E}_r Z}{ZZ_1 + (Z + Z_1)(Z_2 + Z_3)}. \quad (3)$$

После преобразований и подстановки соответствующих величин с учетом их знаков получаем:

$$i_1 = \frac{U_{b1}R_2 - jE_r(-jx_c)}{x_2x_c - jR_2(x_1 - x_c)} = \frac{(U_{b1}R_2 - E_r x_c)e^{-j\beta}}{\sqrt{(x_2x_c)^2 + R_2^2(x_1 - x_2)}} = \frac{U_{b1}R_2}{x_2x_c} - \frac{E_r}{x_2}, \quad (4)$$

так как $x_1 = x_c$ и, следовательно,

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{R_2(x_1 - x_2)}{x_2x_c} = 0.$$

Вектор i_1 совпадает по фазе с \dot{U}_{b1} , т. е. опережает на 90° вектор тока двигателя i . Для определения тока в дросселе и омическом сопротивлении ОС при $\dot{E}_r = 0$ составим следующие уравнения:

$$i_2' = \frac{\dot{U}_{b1}Z}{ZZ_1 + (Z + Z_1)(Z_2 + Z_3)} \quad (5)$$

и при $U_{b1} = 0$

$$i_2'' = \frac{\dot{E}_r(Z + Z_1)}{ZZ_1 + (Z + Z_1)(Z_2 + Z_3)}. \quad (6)$$

Эта составляющая (при $x_1 = x_c$) равна нулю. Поэтому \dot{E}_r не оказывает влияния на величину тока i_2 .

Рассматриваемая схема рис. 1 содержит весьма простые элементы. Схема также вполне экономична с точки зрения потерь в омическом сопротивлении контура, приблизительно равных вольтамперам при потребляемом вспомогательной катушкой ОДП-Т, т. е. незначительной величине.

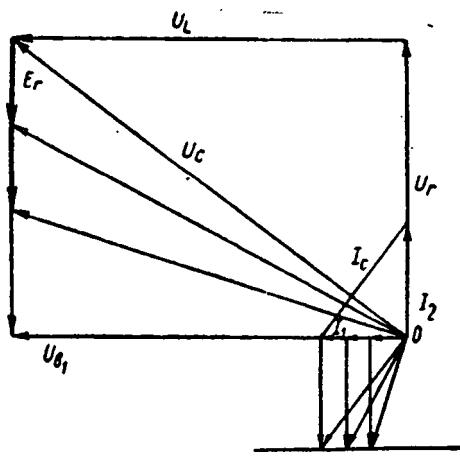


Рис. 2. U_{b1} — напряжение, подводимое к контуру (точки AB); U_L и U_R — падение напряжения в дросселе и омическом сопротивлении; E_r — противоэлектродвигущая сила двигателя; U_c — напряжение на зажимах конденсатора

На рис. 2 приводится диаграмма, иллюстрирующая изменение суммарного тока I_1 в катушках дополнительных полюсов.

При этой схеме пуск и разгон однофазных коллекторных двигателей нормальной частоты также производится на постоянном токе с последующим переводом их на питание переменным током.

Остается еще рассмотреть взаимоиндуктивность между катушками (*ОДП* и *ОДП-Т*) дополнительных полюсов. Сразу бросается в глаза возможность пренебрежения влиянием катушки *ОДП-Т* на катушку *Д*, так как *ОДП-Т* — понизительная катушка, включенная последовательно в цепь двигателя, напряжение которого во много раз превышает собственное напряжение катушки *Д*. С обратным влиянием обстоит несколько сложнее. Обе катушки дополнительного полюса можно рассматривать как катушки трансформатора тока и под этим углом зрения анализировать их индуктивную связь. В катушках *ОДП-Т* находятся э. д. с. потоком индукции B_r (составляющая, компенсирующая реактивную э. д. с.) и потоками рассеяния части компенсационной обмотки, находящейся в большом пазу. Результирующая этих э. д. с. по фазе прямо противоположна подводимому к контуру напряжению U_{b1} , поэтому возможно весьма простым способом скомпенсировать ее. Общее подводимое напряжение по величине, таким образом, должно быть:

$$U' = U_{b1} + kB_r + Ix_{k1} \frac{w''}{w'}, \quad (7)$$

где k — постоянная величина; x_{k1} — индуктивное сопротивление части компенсационной катушки, лежащей в большом пазу; w'' — число витков этой части обмотки; w' — число витков катушки *ОДП-Т*.

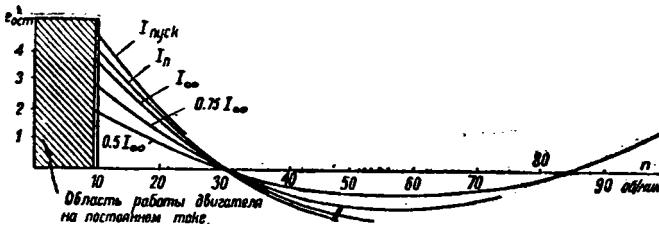


Рис. 3

На рис. 3 дано $e_{ост}$ — остаточная величина напряжения в коммутируемом витке (для одного рассчитанного двигателя) при различных нагрузках и оборотах якоря в минуту.

Таким образом пуск и разгон на постоянном токе в добавлении к рассмотренной здесь схеме улучшения коммутации коллекторного двигателя являются предпосылками рационального решения проблемы однофазного коллекторного двигателя нормальной частоты для электрической тяги.

Ф. А. Дементьев. Завод „Электросила“ им. Кирова. Изменение сопротивления изоляции обмоток машин с температурой.

В эксплоатации нередко возникает необходимость в суждении о состоянии изоляции обмоток электрических машин по сопротивлению изоляции обмоток в холодном состоянии, перед пуском в работу. Между тем существующие нормы минимально-допустимого в эксплоатации сопротивления изоляции обмоток даются только для горячего состояния обмоток. Так, нормы ВЭС устанавливают сопротивление изоляции при 60° , нормы АИЕЕ — при 75° , завода „Электросила им. Кирова“ — при 60° , Главэнерго — в горячем состоянии даже без указания температуры. При испытаниях влагостойкости определяют сопротивление изоляции при температуре 45° , т. е. отличной от температуры норм, и т. д.

По изоляции класса *A* обмоток низковольтных машин в литературе приводились точные¹ опытные данные о температурной зависимости по отдельным машинам и общие выражения².

По изоляции класса *B* обмоток высоковольтных машин указания точной количественной зависимости приводятся ниже, повидимому, впервые.

Изменение с температурой сопротивления изоляции высоковольтной обмотки наблюдалось на одном синхронном трехфазном генераторе производства завода „Электросила“ и 18 750 кВА, 15 000 кВт, 10 500 В, 187,5 об/мин, 50 Гц.

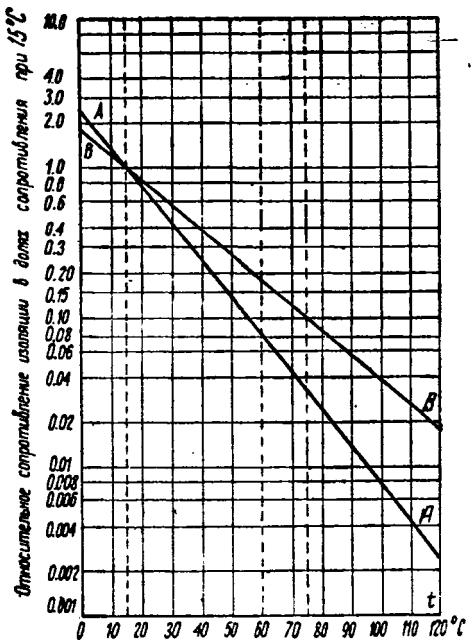


Рис. 1. Кривые изменения относительного сопротивления изоляции обмоток в зависимости от температуры.

AA — для изоляции класса *A* низковольтных обмоток; BB — для изоляции класса *B* высоковольтных обмоток

Температурная зависимость снималась при остывании моток после длительной непрерывной сушки при высокой температуре, т. е. для практически совершенно сухой изоляции. По приводящим обстоятельствам сопротивление изоляции снималось отдельно по каждой фазе, и приводимые данные относятся к одной из фаз обмотки. В общем все фазы дали хорошо совпадающие результаты.

Уравнение кривой³ зависимости сопротивления изоляции

¹ J. L. Rylander, Выступление на зимней сессии АИЕЕ 1934 г. в дискуссии подокладу R. W. Wieseman, El. № 10, стр. 1411 окт. 1934. Ф. А. Дементьев, Пропитки мазки обмоток низковольтных электрических машин. Технологические процессы и производственные инструкции ВНИТОЭ, Ленинград 1939.

² R. W. Wieseman, Insulation Resistance of Armature windings, El. Eng. № 6, стр. 1010 июнь 1934.

³ Коэффициент 60 взят с некоторым округлением для расчетов.

указанной машины от температуры имеет такой вид:

$$R_2 = R_1 \cdot 10^{-\frac{1}{60}(t_2 - t_1)}, \quad (1)$$

где R_2 и R_1 — сопротивления изоляции соответственно при температурах t_2 и t_1 .

Для изоляции класса A низковольтных пропитанных обмоток по опытам завода „Электросила“ в среднем:

$$R_2 = R_1 \cdot 10^{\frac{1}{40}(t_2 - t_1)}. \quad (2)$$

Таким образом для обоих классов изоляции обмоток электрических машин существует один и тот же вид зависимости:

$$R_2 = R_1 \cdot 10^{-\frac{1}{a}(t_2 - t_1)},$$

присущий объемному сопротивлению изоляции вообще.

Сопротивление изоляции класса B высоковольтных обмоток в холодном состоянии при температуре в 15° оказывается при этом в 10 раз больше, нежели сопротивление изоляции в горячем состоянии при 75° . Сопротивление изоляции класса A изменяется соответственно в $31,62 \approx 32$ раза 4 .

При уменьшении температуры в горячем состоянии от 60 до 45° , т. е. от температуры норм ВЭС до температуры определения влагостойкости, сопротивление класса A возрастает примерно в 2,4 раза и т. д.

На рисунке для удобства приведены кривые уравнений (1) и (2) в долях сопротивления при 15° .

Выводы. Применение при холодных обмотках норм минимального сопротивления изоляции для горячих обмоток совершенно недопустимо, так как это означает резкое снижение требований к изоляции. Пользование нормами сопротивления изоляции при горячих обмотках, но при отличных от указанных в нормах температурах, может давать вполне ощущимые ошибки. Нормы сопротивления изоляции, даваемые для горячего состояния обмоток, должны дополняться указанием зависимости сопротивления от температуры.

Г. С. Бернштейн. Ленинградский индустриальный институт. Соединение трехстержневого трансформатора по схеме звезда-звезда.

Соединение обмоток трехстержневого трансформатора по схеме звезда-звезда (Y/Y) широко применяется при низких напряжениях на вторичной обмотке. При высоких напряжениях трехстержневые трансформаторы обычно, как и групповые, снабжают обмоткой, соединенной в треугольник. В некоторых случаях для проверки необходимости соединения одной из обмоток трансформатора в треугольник существенно знать величину потока рассеяния ярма и выяснить, в какой мере этот поток вреден с точки зрения высших гармоник в кривой фазового напряжения и в связи с нагревом кожуха трансформатора.

Определение кривой потока рассеяния ярма для трехстержневого трансформатора, соединенного по схеме Y/Y с изолированной нейтралью, хорошо известно из специальных руководств по трансформаторам. Нами произведено качественное исследование потока рассеяния ярма и связанных с ним гармоник тока и напряжения трехстержневого трансформатора.

⁴ По J. L. Rylander даже в 100 раз.

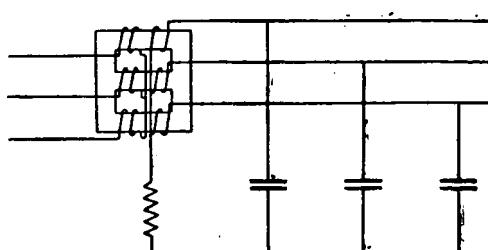


Рис. 1. Принципиальная схема соединения трехстержневого трансформатора по схеме Y/Y нейтралью заземленной через сопротивление

форматора, соединенного по схеме Y/Y с глухим или через индуктивное сопротивление заземлением нейтрали одной из обмоток (рис. 1).

В дальнейших расчетах предполагается, что трансформатор присоединен к источнику напряжения правильной синусоидальной формы и имеет единственную нагрузку в виде холостой линии. Активные потери в линии и трансформаторе в расчеты не вводятся.

Определяя соотношение между намагничивающими токами и потоками отдельных фаз при схеме рис. 1 в той же последовательности, какая обычно принимается при исследовании такой же схемы, но при изолированной нейтрали 1 , получим уравнение:

$$3i_0 W - 3aw_0 = f[\Phi_m \sin \omega t + \varphi_0] + \frac{i_2}{i_1} f[\Phi_m \sin(\omega t - 120^\circ) + \varphi_0] + f[\Phi_m \sin(\omega t - 240^\circ) + \varphi_0], \quad (1)$$

где i_0 — мгновенное значение фазового тока нулевой последовательности, равное $\frac{1}{3}(i_1 + i_2 + i_3)$; φ_0 — мгновенное значение потока рассеяния ярма одной фазы; aw_0 — ампервитки, обусловленные потоком φ_0 ; Φ_m — амплитуда симметричного трехфазного потока, пропорциональная величине приложенного напряжения; $\frac{i_2}{i_1}$ — отношение длин магнитных цепей средней и крайней фаз.

Уравнение (1) содержит неизвестные: $i_0 \varphi_0$ и aw_0 . Для определения неизвестных можно составить еще два уравнения:

$$-aw_0 = k\varphi_0; \quad (2)$$

$$3L \frac{di_0}{dt} + \frac{1}{C} \int i_0 dt = U_0 = W \frac{d\varphi_0}{dt} \cdot 10^{-8}. \quad (3)$$

Линейность соотношения (2) определяется тем обстоятельством, что основная часть магнитного сопротивления потоку приходится на воздушное пространство.

В уравнении (2) $k = \frac{W^2}{L_a} \cdot 10^{-8}$, где L_a — индуктивность, подсчитанная по потоку рассеяния ярма. В уравнении (3): L — индуктивность цепи заземления нейтрали; C — ёмкость одной фазы линии.

Уравнение (1) совместно с (2) и (3) дает:

$$i_0 \left(W + \frac{3kL}{W} \cdot 10^8 \right) + \frac{k10^8}{CW} \int \int i_0 dt = \frac{1}{3} \{ f[\Phi_m \sin \omega t + \varphi_0] + \frac{i_2}{i_1} f[\Phi_m \sin(\omega t - 120^\circ) + \varphi_0] + f[\Phi_m \sin(\omega t - 240^\circ) + \varphi_0] \}. \quad (1')$$

Полученное уравнение содержит два неизвестных: i_0 и φ_0 .

Нас интересуют только решения, отвечающие установленному режиму, поэтому можно представить неизвестные в виде гармонических рядов. Подставляя эти гармонические ряды в исходные уравнения, исключая неизвестные i_0 и aw_0 , и используя соотношения:

$$k = \frac{W^2}{L_a} \cdot 10^{-8} = \frac{W^2}{X_{an}} \omega n \cdot 10^{-8} \quad \text{и} \quad 3L = n^2 \omega^2 C = \frac{X_n}{n \omega},$$

можно получить следующее уравнение:

$$\omega W \cdot 10^{-8} \left\{ \Phi_{01m} \left(\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_{a1}} \right) \sin \omega t + \Phi_{03m} 3 \left(\frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_{a3}} \right) \sin 3\omega t + \dots \right\} = A_1 (\Phi_m, \Phi_{01m}, \Phi_{03m} \dots) \sin \omega t + A_3 (\Phi_m, \Phi_{01m}, \Phi_{03m} \dots) \sin 3\omega t + \dots \quad (1'')$$

Коэффициенты A_n разложения правой части являются нелинейными функциями Φ_m и амплитуд гармоник потока φ_0 .

Точное решение уравнения (1'') в общем виде связано с очень большими трудностями, поэтому мы ограничимся приближенным анализом.

Если для n -й гармоники справедливо условие:

$$X_n \approx -X_{an}, \quad (4)$$

то она должна отсутствовать в уравнении (1'') и, следова-

ианды, траверзой — балка перекрытия лаборатории. C_1 и C_2 — воздушные емкости с достаточно большими промежутками, гарантирующими от возникновения короны; C_3 — сравнительно большая емкость со слюдяными диэлектриками.

Экспериментальная процедура заключается в следующем: отпайка с контактом I соединяется с диском изолятора I ; до соединения, контакта поднимают приложенное напряжение до требуемой величины; замечают силу тока, после чего перемещают контакт I до тех пор, пока не будет установлен некоторый оптимум, при котором ток будет более близким к величине тока при разъединенном контакте. Затем контакт I соединяется, и трансформатор возбуждается. C_1 — переменная емкость, регулируется до тех пор, пока гальванометр не будет отклоняться. Напряжение выравнивают до требуемой величины и записывают показания лампового вольтметра I_a , с помощью которых определяют ток, текущий в емкости C_1 , C_2 и C_3 . Затем контакт I разъединяют, а C_2 закорачивают; приложенное напряжение поднимают до соответствующей величины и ток в C_1 и C_3 находят с помощью показаний вольтметра. Реактансы емкости C_1 известны, так как приложенное напряжение и ток, текущий через него, известны (реактансы емкости C_3 можно пренебречь).

Умножая реактансы емкости C_1 на ток, найденный в предыдущем измерении, получим напряжение на первом изоляторе. Перемещаем контакт I на изолятор 2 и повторяем то же самое. Полученное в этом случае напряжение будет напряжением между двумя крайними (от линии) элементами. Напряжение на втором изоляторе находим с помощью вычитания.

Необходимо заметить, что частота приложенного напряжения должна быть постоянной, в противном случае чувствительность гальванометра будет быстро уменьшаться, реактансы емкостей будут также изменяться.

Этот метод обладает тем недостатком, что аппаратура занимает много места, так как C_1 и C_2 должны выдерживать большие напряжения, поэтому пластины их должны быть расположены на значительном расстоянии друг от друга.

В методе отпайки высоковольтного трансформатора используются отпайки вторичной обмотки. Недостаток его состоит в том, что он требует два высоковольтных трансформатора (рис. 1, б) и два отдельных альтернативных трансформаторов (рис. 1, в). При некоторых обстоятельствах можно взять один альтернативный и приложенное напряжение первичной обмотки одного из трансформаторов изменять с помощью делителя напряжения или индукционного регулятора (двойного типа, чтобы избежать сдвига фаз).

Контакт I присоединяют к тарелке изолятора I , трансформаторы возбуждают, и первичное напряжение трансформатора B регулируют до тех пор, пока вибрационный гальванометр не установится на нуль. Затем напряжение на обоих трансформаторах увеличивают, стараясь держать стрелку гальванометра на нуле до тех пор, пока не получат полного напряжения, которое наблюдают по вольтметру V_A . Тогда напряжение, приложенное к линейному изолятору, будет $V_A - U_B$, полученную разность умножают на соответствующий коэффициент.

3. Распределение потенциалов при методе использования замеренных токов не замеряется непосредственно, а подсчитывается из распределения замеренных токов. По сравнению с предыдущими, этот метод более точен. Ошибки, вводимые измерительными приборами и проводами, исключены. Однако пользоваться им можно только до тех пор, пока не появилась корона на любом из изоляторов. Таким образом его применение ограничено.

Сущность метода заключается в следующем: пусть один изолятор будет представлен емкостью (сети), как показано рис. 2, а; если C_1 известно, а I_1 и I_2 можно измерить, это совершенно достаточно, чтобы подсчитать распределение потенциалов на двух изоляторах.

Ток I_a всегда постоянен, так как прикладываемое напряжение на любом из элементов гирлянды постоянно (токи, обозначенные одинаковыми символами в трех диаграммах, равны).

Подсчитаем распределение потенциалов для двух элементов гирлянды (рис. 2, б). Пусть I — общий ток, текущий через траверзу, и I' — общий ток мачты, тогда $I_b = I'_b - I_a$. Емкость изолятора и ушка (или головки, в зависимости от типа изолятора) на землю (C_b) известна, тогда E_b можно получить из уравнения:

$$E_b = \frac{I_b}{\omega C_b}$$

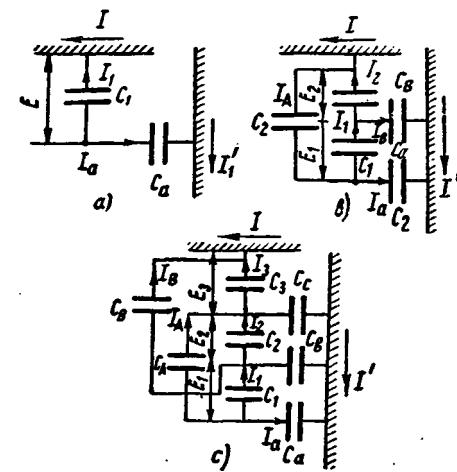


Рис. 2. Метод использования замеренных токов

$$E_1 = E - E_2. \quad (2)$$

В случае трех элементов гирлянды (рис. 2, с)

$$I' - I_a = I'_b + I_c.$$

Последние два слагаемых можно представить так:

$$I_b + I_c = \frac{I_b X_b}{X_B} + \frac{I_c X_c}{X_3}, \quad (3)$$

где

$$X_b = \frac{1}{\omega C_b};$$

$$X_3 = \frac{1}{\omega C_3}.$$

Если допустить, что $X_B = \frac{1}{\omega C_A}$, тогда I_b и I_c можно найти из этих двух выражений, а следовательно, и напряжения E_1 , E_2 и E_3 определяются по способу, указанному в случае для двух элементов гирлянды.

Равенство $X_A = X_B$ и т. д. в большинстве случаев достаточно точно.

Для гирлянд с большим числом элементов решение уравнений довольно трудоемко и в таком случае преимущество, конечно, остается на стороне эксперимента.

Кроме того, этот метод требует, чтобы взаимные емкости элементов, а также емкости тарелок и металлических ушек на мачту измерялись одновременно с общим током, который течет в траверзу и мачту. При этом, если отказаться от предположения, что $X_A = X_B = X_C$ и т. д., тогда токи, соответствующие этим реактансы, должны быть найдены, и X_A , X_B , X_C и т. д. должны подсчитываться отдельно.

А. С. Зингерман. Ленинградский индустриальный институт. Сопротивление тела контакта.

Контакты электрических проводов могут быть выполнены в двух вариантах: а) проводники соприкасаются своими торцами — стыковой контакт и б) конец одного проводника нахлестывается на конец второго — контакт нахлесткой (рис. 1). Металлический контакт, т. е. соприкосновение чистых металлических поверхностей, имеет место только в дискретных площадках чрезвычайно малых по сравнению со всей контактной поверхностью, то токовые линии должны в этих местах сгущаться. Это явление характеризуют как сопротивление распространения, которое сосредоточено, главным образом, у основания бугров в теле контакта. Оба последних сопротивления вместе

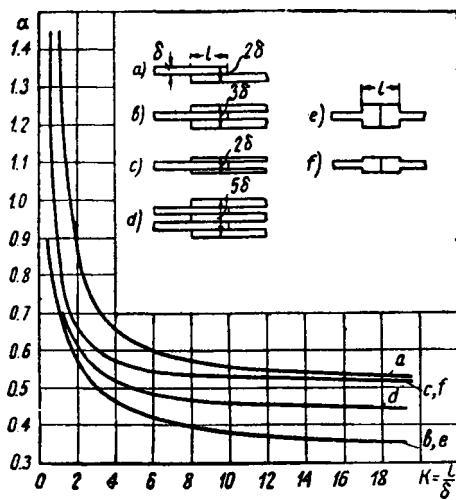


Рис. 1

называются контактным сопротивлением. Переходное сопротивление, согласно измерениям Хольма [1], мало по сравнению с сопротивлением распространения. Ввиду того, что тело контакта шире, чем проводник, то в нем появляется второе дополнительное сопротивление, обусловленное искривлением токовых линий. Это второе дополнительное сопротивление сосредоточено в области искривления токовых линий, главным образом, у места увеличения сечения проводника и относится к сопротивлению самого тела контакта.

Измерения сопротивления тела контакта нахлесткой с контактным сопротивлением, равным нулю (такой контакт называется идеальным), были произведены Вельсоном и Бусом [2] и Смитом и Вульфом [3]; результаты этих измерений даны на рис. 2. Никто из указанных авторов не дает объяснения характеру полученной зависимости. Некоторые [4] ищут объяснение расхождению в результате измерений в различиях удельных проводимостей испытанных образцов. Однако, как видно из дальнейшего, это неверно.

Поле плоского проводника бесконечной длины, показанного на рис. 3, может быть найдено методом конформных преобразований. Функция, отображающая это поле в полу-плоскости w :

$$z = \frac{\delta_2}{\pi} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{(\eta+1)^2 + \xi^2}{(\eta+1) + \xi^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{(p\eta-1)^2 + p^2\xi^2}{(p\eta-1) + p^2\xi^2} + \right. \\ \left. + \frac{\delta_2}{\pi} \left[\frac{1}{p} \operatorname{arctg} \frac{2p\xi}{p^2(\eta^2 - \xi^2) - 1} - \operatorname{arctg} \frac{2\xi}{\eta^2 + \xi^2 - 1} + \pi \right] \right], \quad (1)$$

где

$$\eta = \sqrt{\frac{\sqrt{(m^2 + n^2)(1 + n^2)} + m + n^2}{2(1 + n^2)}}, \\ \xi = \sqrt{\frac{\sqrt{(m^2 + n^2)(1 + n^2)} - m - n^2}{2(1 + n^2)}}, \\ m = \frac{u+1}{u+p^2}; \quad n = \frac{v}{u+p^2}; \quad p = \frac{\delta_2}{\delta_1}; \\ u + iv = w; \quad x + iy = z;$$

w и z — координаты точки в плоскости w и плоскости проводника z .

На рис. 3 дан спектр поля, построенный с помощью функции (1), для параметра $p=2$. За единицу разности потенциалов принято падение потенциала в проводнике толщиной δ_1 на участке, равном его толщине. Эквипотенциальная поверхность, проходящая через вершину прямого угла, принятая за нулевую. Спектры полей показывают, что выравнивание тока практически происходит: до утолщения — на участке, равном примерно половине толщины проводника δ_1 , после утолщения — на участке длиной около $1.5\delta_1$. Поэтому картина поля остается верной для идеального контакта, тело которого имеет (рис. 1) длину $l > 3\delta_2$. Функция поля для проводника однородного сечения с толщиной δ_1 :

$$z = \frac{\delta_1}{\pi} \left[\ln \sqrt{u^2 + v^2} + i \operatorname{arctg} \frac{v}{u} \right] \\ x = \frac{\delta_1}{\pi} \ln \sqrt{u^2 + v^2}, \quad (2)$$

Рис. 2. Зависимость отношения сопротивления тела идеального контакта к сопротивлению проводника той же длины от отношения длины тела контакта к толщине проводника.

А — экспериментальная кривая Смита и Вульфа; Б — экспериментальная кривая Вельсона и Буса; α_A и α_B — теоретические кривые автора

Рис. 1. Кривые α — зависимости отношения сопротивления тела идеальных контактов различных конструкций к сопротивлению проводника той же длины от отношения $k = \frac{l}{\delta}$ — длины тела контакта к толщине проводника, a, b, c, d — контакты нахлесткой, e, f —стыковые контакты

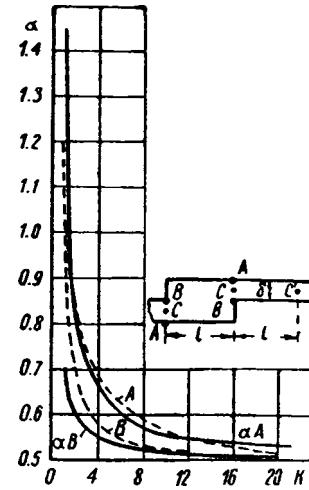


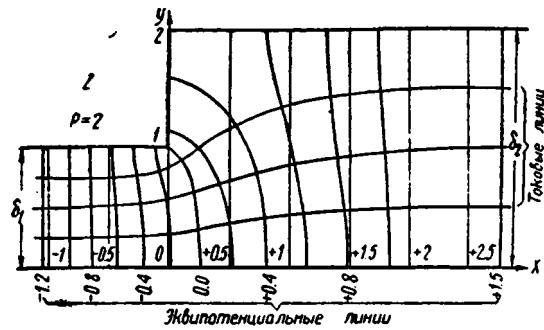
Рис. 2

x — длина, на которую падает разность потенциалов, выраженная в единицах δ_1 .

Отношение длин, на которых падает одна и та же разность потенциалов (при одном и том же токе), обратно пропорционально сопротивлению. Следовательно, отношение сопротивления тела контакта R_T к сопротивлению участка проводника той же длины R_n :

$$\frac{R_T}{R_n} = \frac{\ln \sqrt{u^2 + v^2}}{\frac{p}{2} \ln \frac{(\eta+1)^2 + \xi^2}{(\eta-1)^2 + \xi^2} + \frac{1}{2} \ln \frac{(p\eta+1)^2 + p^2\xi^2}{(p\eta-1)^2 + p^2\xi^2}}. \quad (3)$$

Так как разность потенциалов выражается в единицах δ_1 , то она численно равна $\frac{l}{\delta_1} = k$. Следовательно, $\frac{R_T}{R_n} = \alpha = f(k, p)$. Как видно, α является функцией только отношения длины тела контакта к толщине проводника и параметра p . От удельной же проводимости проводника α совершенно не зависит.

Рис. 3. Спектр поля при параметре $p=2$

Из спектра поля видно, что разность потенциалов между точками AA (рис. 2) в контакте нахлесткой больше, чем между точками BB . Поэтому величина α зависит от того, какую разность напряжений принимать за падение напряжения в контакте.

На рис. 2 даны α для двух рассмотренных выше слу- и для параметра $p=2$. Для значения $k < 6$ кривые преуменьшенные значения, так как искривление токовых линий будет больше, чем это имеет место в спектре сравнений кривой α_A с кривой Смита и Вульфа с учётом еще одно обстоятельство. Смит и Вульф изменили отношение сопротивления между точками CC' . Результаты измерений Смита и Вульфа должны дать несколько преуменьшенные значения. Из рисунка видно, что кривая Смита и Вульфа хорошо согласуется с кривой α_A и является хорошим подтверждением ложной теории сопротивления тела контакта. Еще совпадает кривая α_B с кривой Вельсона и Буса, если учесть во внимание отмеченный выше участок кривой α_B .

дает преуменьшенные результаты. Расхождение кривых Вельсона и Буса с кривыми Смита и Вульфа, очевидно, обусловливается различной оценкой величины падения напряжения в контакте.

На рис. 1 даны кривые сопротивления тела некоторых типов контактов плоских проводников, употребляемых на практике, подсчитанные на основе изложенной теории. Теоретическое определение α для контактов при большем числе параллельных проводников невозможно. В последнем случае α может быть найдено путем интерполяции. Эти значения α лежат между кривыми a и d (рис. 1), причем чем больше проводников, тем ближе к кривой a лежат значения α .

Все выводы верны как для стационарного, так и квазистационарного тока. Волна технического переменного тока велика по сравнению с длиной контакта и поэтому выводы также применимы и к переменному току, если только индукционные эффекты невелики, что имеет место при тонких шинах. Следует также отметить, что все сделанные расчеты относятся к контактам с равномерно распределенным давлением по всей контактной поверхности.

Литература

1. R. Hölm, Wiss. Veröff. a. d. Siemens — Konserv. B. 17 217, 1928—29.
2. Wilson a. Booth JAEE, Aug., 1922.
3. H. Smitt и B. Wulff, Haus ZS der V. A. W. Apr., 1930.
4. Машкиллесон и Романовский, Вестн. Т. и Э. Электротехники, 1932.

С. Н. Чуваев. Завод АТЭ-1. Расчет постоянных магнитов с максимальным использованием энергии.

Метод определения размеров постоянного магнита с оптимальным использованием магнитной энергии, разработанный втором применительно к выбранной магнитной системе магнито, при намагничивании магнита вне корпуса заключается в следующем.

Обычно, располагая расчетным материалом, определяли поток якоря Φ_e , и если он оказывался приблизительно соответствующим заданию, то считали расчет законченным. Это нецелесообразно для машин малых мощностей, где изготовление опытных образцов всегда предшествует окончательному конструктивному оформлению данного типа и, таким образом, существует возможность экспериментально проверить наличие необходимого Φ_e .

Разработка новых конструкций, основанная только на лабораторном исследовании макетов и применяемая большинством заграничных фирм, едва ли может быть признана рациональной, так как „слепое“ экспериментирование может лишь случайно привести к наивыгоднейшему решению поставленной проблемы.

Поэтому считаем необходимым использовать расчетный материал не только для проверки необходимого Φ_e , но для определения наивыгоднейших размеров магнита.

Чертим эскиз (рис. 1), задаемся материалами и максимальным полезным потоком якоря Φ_e , который обеспечит требуемые электрические характеристики магнито. Тогда для поддержания Φ_e на полюсах магнита должна быть обеспечена определенная м. д. с., которая неизбежно вызовет потоки рассеяния Φ_s . Поэтому заданная магнитная система будет требовать от магнита определенной энергии W , являющейся внешней энергией магнита. Отсюда следует, что объем магнита будет минимальным, если развиваемая им внешняя энергия достигнет максимума.

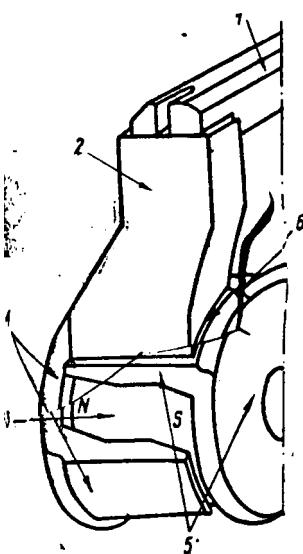


Рис. 1. Эскиз магнитной системы:

1—сердечник трансформатора, 2—полюсные башмаки трансформатора, 3—магнит, 4 и 5—передние и задние башмаки его

Таким образом задача сводится к нахождению размеров магнита, при которых магнит, намагниченный с полюсными башмаками, но вне корпуса магнито, разовьет максимальную внешнюю энергию после установки его в корпус.

Для этого по имеющимся данным производим подсчет проводимостей, необходимых для построения диаграммы: P_{\max} — полной проводимости магнитной системы относительно нейтральной зоны магнита для положения ротора, соответствующего $\Phi_{e\max}$; P_{\min} — минимальной проводимости магнита с арматурой, соответствующей магниту, вынутому из намагничивающегося аппарата и еще не вставленного в корпус; P_{\min} определяет начальную точку кривой возврата. $P_{e\max}$ — максимальная полезная проводимость, определяющая собой коэффициент рассеяния, — $\alpha_{\min} = \frac{P_{\max}}{P_{e\max}}$.

Кроме того, для выбранного материала магнита должны быть известны B_p — остаточная индукция [G], H_c — коэрцитивная сила [Oe], $\rho = f(H)$ — коэффициент возврата для различных индукций.

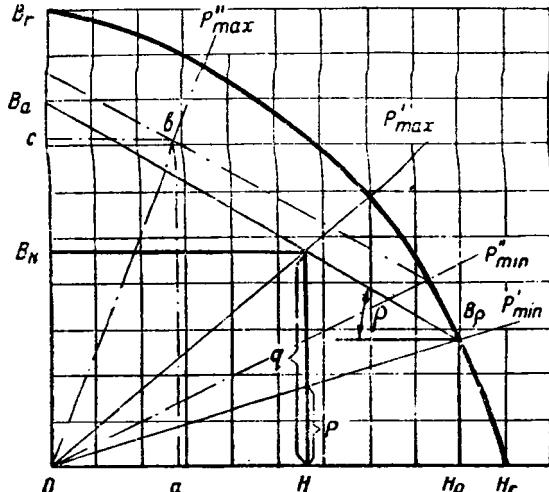


Рис. 2

На рис. 2 приведена кривая размагничивания с нанесенными прямыми приведенных проводимостей (см. пунктирные прямые) и кривой возврата для магнитной системы согласно эскиза.

Заданная магнитная система характеризуется отношением (рис. 2), которое назовем коэффициентом размагничивания магнитной системы:

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{q}{p},$$

причем оно должно быть соблюдено для какого угодно отношения сечения магнита S к его длине l .

Изменение сечения и длины магнита меняет B_N , H и W , что и положено в основу предлагаемого метода (см. сплошные прямые).

Примем за ложную независимую переменную H_p (рис. 2). Если выразить в функции H_p величины W , l , S , U , то не трудно будет выбрать наивыгоднейшие размеры магнита, удовлетворяющие наилучшему использованию магнитной энергии (W) и заданным габаритам магнитной системы.

Согласно рис. 2 нетрудно получить следующие расчетные формулы:

$$H_{\text{раб}} = H_p \frac{B_p + \rho H_p}{n B_p + \rho H_p} [\text{Oe}], \quad (1)$$

$$W = \frac{H_p B_p}{8\pi} n \left[\frac{B_p + \rho H_p}{n B_p + \rho H_p} \right]^2 [\text{erg}], \quad (2)$$

$$S = \Phi_e \frac{\sqrt{\frac{H_p}{n B_p}}}{\sqrt{8\pi W}} [\text{cm}^2], \quad (3)$$

$$l = \frac{\Phi_e \sigma}{P_{\min}} \cdot \sqrt{\frac{B_r}{nH_0}} \quad [cm], \quad (4)$$

$$V = \frac{[\Phi_e \sigma]^2}{P_{\max}} \cdot \frac{1}{8\pi W} \quad [cm^3]. \quad (5)$$

Получаем следующую методику определения размеров магнита с наивыгоднейшим использованием магнитной энергии: 1) путем вычисления строим кривые $W = f(H_p)$, $S = f_1(H_p)$ и $l = f_2(H_p)$, задавшись n и P_{\min} ; 2) выбираем S и l , которые укладываются в заданные габариты и соответствуют наилучшему использованию магнитной энергии W ; 3) сравниваем выбранные размеры магнита l и S с эскизными и оцениваем, требуется ли перерасчет всех проводимостей.

Если выбранные размеры магнита отличаются от эскизных незначительно, т. е. изменение размеров магнита не может привести к значительному изменению P_{\min} , P_{\max} и σ , перерасчет магнитной системы не производим и вносим в чертежи выбранные l и S . В противном случае заключаем, что выбранная магнитная система не может обеспечить рациональное использование магнитной энергии. Приводим в таблице результаты экспериментальной проверки.

Таблица

	l [cm]	S [cm ²]	V [cm ³]	$H_{\text{раб.}}$ [Oe]	Φ_e [M]	B_r [G]	H_e [Oe]
Нормальный магнит	3,2	12,7	40,5	132	$2,1 \cdot 10^4$	6200	420
Расчетный	2,8	12,7	36	150	$2,1 \cdot 10^4$	6200	450
Модернизированный магнит . .	1,8	15,5	28	233	$2,1 \cdot 10^4$	5600	550
Расчетный магнит с лучшей сталью	1,4	18,5	26	300	$2,1 \cdot 10^4$	4500	700

Из таблицы видим, что расчетный магнит для применяемой стали (6200 Г и 450 Ое) получается легче всего на 10%. Использование сталей с меньшими остаточными индукциями недопустимо для применяемого магнита, так как поток при этом снижается до 20 000 М.

Модернизированный магнит из стали (5600 Г и 550 Ое) легче нормального на 30%. Это получилось в результате правильного выбора размеров и при использовании стали, имеющей большую удельную магнитную энергию.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА ЗА ГРАНИЦЕЙ

Schiesser. Выпрямительестроение фирмы BBC. BBC Mitteilungen № 5/6, стр. 83, 1938.

В статье дается краткая история развития ртутных выпрямителей с момента их появления до наших дней.

С самого момента организации производства выпрямителей фирма BBC выделила его в самостоятельную единицу, организовав специальную лабораторию. Эта новая лаборатория была названа «кухней чародейства». Не только в тот ранний период развития выпрямителей, но и сейчас еще есть не мало неясных вопросов, связанных с самим процессом работы выпрямителя. Наличие лаборатории позволило внести некоторую ясность в отдельные процессы путем длительного наблюдения за поведением выпрямителей в эксплуатации и одновременно в лабораторных условиях. Кроме научно-исследовательской лаборатории (свободной в своих исканиях) была создана лаборатория, программа работ которой была определена производством и, наконец, была создана еще одна группа, связанная непосредственно с испытаниями, необходимыми для цеха. Эти три группы лабораторий себя вполне оправдали и их работа дала ощущительные результаты. В настоящее время фирмой выполнено установок на общую мощность 2 780 000 кВт. С каждым годом улучшалась конструкция, и выпрямители становились все более надежными. В 1927 г. был построен сверхмощный выпрямитель на 16 000 А, но, как показали опытные испытания, он оказался ненадежным, давал часто обратные зажигания и имел повышенное падение напряжения в дуге. С 1925 г. начали развиваться выпрямители с управляющими сетками, что позволило расширить применение выпрямителей. В 1922/23 гг. был построен первый выпрямитель на 4000 В, а затем, позднее, в 1929 г. для целей радио были выпущены выпрямители до 30 кВ 1000 кВт. За последние годы были построены выпрямители — огнепаянные, с воздушным охлаждением, на силу тока до 1600 А.

Выпрямители нашли себе широкое применение для целей электрической тяги. В 1927 г. появилась первая крупная установка на 16 000 А для электролиза алюминия. На первых установках фирма получила возможность освоить мощные выпрямители в процессе их эксплуатации.

В приведенной ниже табличке дается распределение выпрямителей по отдельным потребителям:

Электрическая тяга	1 680 000 кВт
Химия	650 000 .
Свет и сила	410 000 .
Радио	40 000 .
Итого	2 780 000 кВт

Ртутные выпрямители применяются за последнее время довольно широко в промышленности. Дальнейшее их внедрение должно пойти в первую очередь в металлургической промышленности: здесь выпрямители заменяют коллекторные машины в схемах Леонарда. Этот вопрос в настоящее время технически разрешен полностью.

Интересно отметить также, что выпрямители применяются на одной опытной установке для преобразования трехфазного тока нормальной частоты в однофазный 1000—20 000 Гц, для питания высокочастотной печи.

Развитие высоковольтных выпрямителей напряжением до 60 кВ на силу тока 300—400 А в одной единице позволяет поставить вопрос о возможности передачи электрической энергии постоянным током на большие расстояния. Для этой цели возможно соединить последовательно до 5 таких выпрямителей.

В 1939 г. фирма предполагает осуществить опытную установку на 50 000 В, 500 кВт с передачей этой мощности на расстояние 25 км.

Л. М. Клячкин

L. Lebrecht и Paptzsch. Две установки со ртутными выпрямителями на 64 000 кВт и 332 000 кВт. AEG-Mitt., стр. 83—88, февраль 1939.*

В 1936 г. фирма AEG выполнила для целей электролиза установку со ртутными выпрямителями общей установленной мощности 64 000 кВт. Две группы ванн питаются при напряжении 700—800 В током силой 30 000 А на каждую группу. Для этой цели на подстанции установлены 8 агрегатов, состоящих каждый из питающего трансформатора и двух мощных ртутных выпрямителей на силу тока в 5000 А каждый. Таким образом в каждой группе, питающей одну серию ванн, 3 агрегата являются рабочими и один резервным. Напряжение на стороне выпрямленного тока в пределах от 700 до 800 В регулируется помостью управляющих сеток и ступенчатым трансформатором. Ступенчатый трансформатор имеет 24 ступени, что позволяет снижать выпрямленное напряжение до 450 В. Питающий трансформатор (на 2 РВ) со вторичной стороны дает возможность получения 12-фазной системы. Магнитопровод трансформатора разделяется на две части промежуточным ярмом. Обмотки

* В статье не дается указания, для какой цели выполнены установки, но, судя по силе тока для серии ванн можно сказать, что обе установки служат для получения алюминия электролитическим путем.

как вторичной стороны, так и первичной расположены в верхней и нижней части сердечников. Первичная обмотка одной системы соединяется в Δ , а другой — в Δ , и это дает возможность получить на вторичной стороне каждого трансформатора 12-фазный ток. В общем кожухе трансформатора встроены разделяющая катушка и анодные реакторы, дающие возможность подавать напряжение к 36 анодам (каждый РВ имеет 18 анодов). Для уничтожения высших гармоник в кривой первичного тока служат специальные трансформаторы, включаемые перед регулировочным трансформатором. Эти трансформаторы дают возможность сдвигать кривую напряжения первого трансформатора на 10° вперед, а третьего трансформатора — на 10° назад по отношению к кривой напряжения второго трансформатора. Они установлены только у трех агрегатов (каждой серии ванн); один из них дает возможность сдвига в обе стороны, а два — только в одну сторону. Четвертый агрегат трансформатора сдвига фаз не имеет. Наличие одного агрегата с возможностью сдвига напряжения в обе стороны позволяет получить любое соединение для работы в случае выхода из строя одного из агрегатов, и всегда будет обеспечена возможность компенсации высших гармоник. Для регулировки выпрямленного напряжения служат фазорегуляторы: общий и индивидуальный на каждый РВ, питающие цепи сеток. Общий фазорегулятор питает одновременно сеточные цепи всех восьми выпрямителей. На каждой серии ванн имеется по одному резервному общему фазорегулятору. Регулировка производится автоматически и выполнена на постоянную силу тока.

Вся установка питается от шин переменного тока при напряжении 5 кВ. Для улучшения коэффициента мощности имеется группа конденсаторов мощностью в 18000 кВА.

Со стороны выпрямленного тока каждый выпрямитель защищен быстродействующим автоматом на силу тока в 5000 А, включенным в цепь катода. В этой же цепи включены и реакторы для сглаживания пульсации.

Вторая установка, выполненная фирмой AEG, состоит из четырех агрегатов по 10000 А, 830 В каждый (три рабочих и один резервный), служит также для питания электролизной установки в 30000 А. Эта установка питается от сети 100 кВ. Помощью двух трансформаторов по 20 MVA каждый напряжение понижается до 30 кВ и это последнее подводится к четырем питающим трансформаторам выпрямительной подстанции. Особенность этой установки состоит в том, что она может работать или на постоянную силу тока (с ограничением мощности) или на постоянную мощность (с ограничением силы тока). В остальном эта установка своим устройством почти не отличается от описанной выше.

Л. М. Клячкин

Remscheid E. I. Регулирование давления ртутных паров ртутного выпрямителя. *GER.*, т. 41, № 12, стр. 50—56, декабрь 1938.

Удовлетворительная работа многоамперного металлического ртутного выпрямителя может протекать только при поддержании его температуры в определенных пределах. Выделяемое в выпрямителе тепло (50% дугой, 30% катодом и 20% анодами) отводится различными методами. Наиболее распространенный метод водяного охлаждения, кроме того, содействует конденсации ртутных паров и, следовательно, дает возможность поддерживать давление в определенных пределах. Давление паров ртути, испаряющейся с катода в количестве 0,8 г в секунду на каждые 100 А, необходимо поддерживать в определенных пределах, так как чрезмерное давление ведет к диэлектрическому пробою паров и, следовательно, к обратным зажиганиям, а недостаток его — к обрыву дуги.

Рис. 1 дает зависимость давления паров от температуры выпрямителя, а рис. 2 — пробивного напряжения паров от той же температуры. Причем кривая А дана для одного работающего анода, а В для того же анода, но при работающем соседнем аноде.

Количество воды, необходимое для охлаждения выпрямителя, может быть определено по следующей формуле: $\frac{\text{падение в дуге} \times \text{ток нагрузки}}{1000}$, где

T_2 — температура выходящей, а T_1 — входящей воды. Чрезмерное охлаждение увеличивает падение в дуге. При малых нагрузках, когда тепловые потери недостаточны для поддержания на заданном уровне температуры, при-

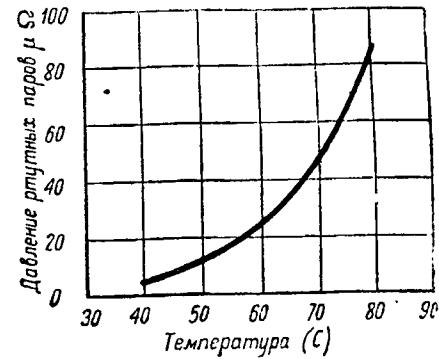


Рис. 1. Кривая давления паров ртути

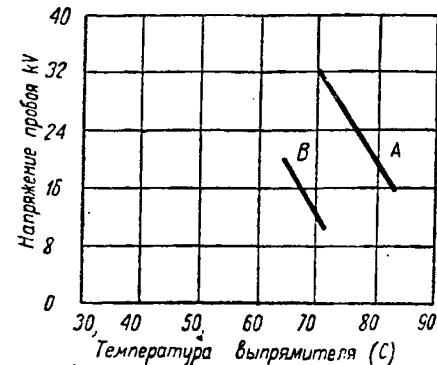


Рис. 2. Диэлектрический пробой ртутных паров

меняют включение (посредством термостатов) подогревателей воды. Последние помещаются или в водяной рубашке выпрямителя или в охладителе, где нормально охлаждается нагретая вода выпрямителя. Аноды, сильное охлаждение которых может вызвать образование на них конденсации ртути и катодных пятен, ведущих к обратным зажиганиям, снабжаются особыми электрическими нагревателями.

Наиболее удовлетворительной системой охлаждения является циркуляционная, при которой вода выпрямителя проходит через охладитель, омываемый водопроводной водой. При росте температуры выпрямителя терморегулятор, помещенный в его водяную рубашку, воздействует на водопроводный кран, открывая его или, наоборот, закрывая его при малых нагрузках. При очень малых температурах терморегуляторы включают подогреватели. Таким образом основной аппаратурой для автоматического регулирования температуры являются терморегуляторы, автоматические краны, охладители. Так как продолжительность срока службы выпрямителя зависит от ржавления соприкасающихся с водой частей, то для борьбы с коррозией было опробовано покрытие стенок выпрямителя асфальтовыми, металлическими и металлокислическими красками, различными лаками, эмалями и распыленным расплавленным металлом. Так как все это не дало удовлетворительных результатов, то пошли по линии химической обработки охлаждающей воды.

В результате исследований в последние годы получили развитие металлические ртутные выпрямители с циркуляционной системой охлаждения, в охлаждающую воду которой добавляется 0,5%-ный раствор двуххромокислого натрия. Во избежание коррозии ртутных насосов на них надевают и приваривают змеевики, через которые протекает непосредственно водопроводная вода.

М. Д. Трейвас

Применение ртутных выпрямителей в алюминиевой промышленности Франции. *Journal du Four Électrique* № 2, 1939.

Энергетическая база алюминиевой промышленности Франции — родина электролитического способа получения металлического алюминия — отличается известным свое-

образием. До последнего времени, все без исключения французские алюминиевые заводы снабжались постоянным током непосредственно от собственных гидроэлектрических станций, оборудованных гидрогенераторами постоянного тока; электролизный цех, как правило, располагается впритык к зданию машинного зала станции. Ввиду сезонного характера гидравлической энергии, на заводах имеются резервные группы вращающихся преобразователей, питающиеся от высоковольтной трехфазной сети данного района.

Наличие дешевых гидроэлектрических ресурсов на юго-востоке страны обусловило постройку почти всех заводов по производству алюминия в области французских Альп. Только два завода (Оза и Беред) расположены в Пиренеях.

Находившаяся некоторое время в застое и частичной консервации французская алюминиевая промышленность, начиная с 1936 г., стала быстро увеличивать свою производительность. В табл. 1 приведены данные, характеризующие рост продукции алюминия с 1933 г. (в тоннах).

Таблица 1

1933 г.	1934 г.	1935 г.	1936 г.	1937 г.	1938 г.
14 500	16 000	16 000	26 500	34 500	43 000

Соответственно этому увеличивался расход электроэнергии на электролиз. В табл. 2 приведены данные о потреблении электроэнергии электрохимической промышленностью (в млн. kWh).

Таблица 2

	1935 г.	1936 г.	1937 г.
Выработка энергии по всей стране	16 375	16 980	19 015
Потребление электрохимии и электролиза	2 215	2 650	3 150
Потребление электрометаллургии	1 170	1 250	1 510

Указанный рост производства алюминия базируется на расширении старых заводов и частично на постройке новых предприятий, причем требуемая дополнительная мощность постоянного тока обеспечивается исключительно ртутными выпрямителями, уже получившими повсеместное признание.

Первым начал расширяться завод Сен-Жан-де-Мориен, принадлежащий фирме «Але, Фреж и Камарг». В 1935—1937 гг. строится ртутно-выпрямительная подстанция мощностью 41 400 kW, включенная в Альпийскую энергосистему. В настоящее время на этом заводе постоянный ток вырабатывается следующими агрегатами: гидрогенераторами мощностью 12 500 kW, мотор-генераторами мощностью 20 500 kW и ртутными выпрямителями — 41 400 kW. Общая мощность установки — 74 400 kW на стороне постоянного тока.

Выпрямительная установка состоит из шести групп сдвоенных ртутных выпрямителей; каждая группа питается от одного трансформатора, непосредственно подключенного к сети 42 500 V. Мощность группы 6900 kW; сила тока обоих выпрямителей равна 12 000 A при выпрямленном напряжении 575 V. Выпрямители снабжены управляющими сетками, обеспечивающими автоматическое регулирование.

Аналогичная подстанция смонтирована на заводе Вентон для снабжения нового электролизного цеха с зодерберговскими ваннами. Подстанция оборудована тремя группами ртутных выпрямителей мощностью 7500 kW каждая. Выпрямленный ток агрегата равен 11 500 A при $E_g = 660$ V. Напряжение переменного тока — 42 500 V.

Суммарная мощность ртутных выпрямителей, установленных на алюминиевых заводах Франции, равнялась в 1938 г. 68 900 kW.

Г. К. Цверава

Испытания скоростных электровозов во Франции, Electric Railway Traction, 31 марта, 1939.

На французских государственных ж. д. произведены испытания скоростных электровозов типа 2-Д-2. Электровоз E 704 весит около 136 t, в том числе механическая часть 86,5 t и электрическая 49,5 t. Поезд из четырех вагонов весом 176 t развивал скорость 180 km/h на пролете 2 km и 185 km/h — на 1 km. На 20-км участке Блуа-С. Пьер де Кор электровоз поддерживал среднюю техническую скорость 170 km/h в том и другом направлении. Важно отметить, что ни сам электровоз ни вагоны не имеют обтекаемых форм. При скорости 168 km/h эквивалентное сопротивление для всего поезда, включая электровоз, составляло 11,2 kg/t.

Колеса диаметром 1753 mm приводятся в движение от четырехполюсных тяговых электродвигателей с двойной системой обмоток якорей («моторы-близнецы») посредством зубчатой передачи с полым валом по системе Вестингауза. Нормально обе обмотки якорей соединены последовательно; при напряжении 1350 V в контактном проводе (номинально 1500 V) и при шунтированном поле мощность сдвоенного двигателя составляет 1075 л. с., сила тока 635 A, число оборотов в минуту 1140. Соответствующие данные для часовской мощности: 1240 л. с.; 722 A; 1040 об/мин. Мощность электровоза на ободе движущих колес составляет 4300 л. с. при скорости 106 km/h и 4950 л. с. при скорости 96,5 km/h. Максимальная мощность электровоза, отнесенная к пантографу, составляет 6000 л. с. при скорости 90 km/h. Вес одного электродвигателя без передачи составляет 6,1 t, или 4,9 kg на 1 л. с. часовской мощности.

Роликовые подшипники якорей нормально пробегают 240 000 km без возобновления смазки. Вентиляция электродвигателей — принудительная, от двух мотор-вентиляторов 675 V производительностью по 188 m³/min каждый.

Электропневматическая система управления дает 15 экономических скоростей при работе на четырех тяговых электродвигателях, соединяемых последовательно, последовательно-параллельно и параллельно, и пять скоростей при работе на двух двигателях. Максимальная степень шунтировки поля двигателей — 50%. Возбуждение для рекуперативного торможения осуществляется при помощи двух мотор-генераторов 1350/45 V, 22 kW.

А. Г. Галанов

Фильтры на подстанциях Южно-Африканских железных дорог. ETZ № 50, стр. 1363, 1938; The Electrician № 121, стр. 91—95, 1938.

После установки ртутных выпрямителей на подстанциях электрических железных дорог Наталя имело место очень сильное влияние тяговых токов на телефонную связь. Это в значительной мере объясняется тем, что линии связи протянуты всего на 7,5 m от наружного рельса.

На законченном в 1931 г. участке Lady Smith — Наттисmith были установлены ртутные выпрямители без сеточного управления, и для защиты от телефонных помех был применен фильтр с четырьмя резонансными щунтами и реактором 10 mH.

На участке второй очереди Durban — Cato Ridge такой же фильтр работал значительно хуже, так как линии этого участка питались весьма длинной линией трехфазного тока, и 5-я гармоника первичного тока очень искажала анодное напряжение, в результате волнистость 300-периодной гармоники возросла до 17%.

Если на первом участке при включении фильтре эквивалентное мешающее напряжение снижалось до 0,5% и в телефоне паразитный шум был мало заметен, то на участке Дэрбан — Като — Ридж при нормальном фильтре шум в телефоне крайне затруднял разговор. Пришлось реконструировать фильтр, увеличив емкость в 300-периодном щунте почти вдвое.

В 1938 г. закончилась электрификация третьей очереди Glencoe — Volksrust, на котором пущено 14 подстанций, оборудованных мутаторами, поддерживающими с помощью сеточного управления выпрямленное напряжение в пределах $\pm 2,5\%$ при нагрузке и позволяющими рекуперировать энергию в трехфазную сеть.

Влияние в этом случае усилилось еще больше и не только за счет увеличения эквивалентного мешающего

пржения, но и вследствие появления высших гармоник из-за неравенства фактических сеточных отсечек у анондов.

Снижение мешающего действия на телефонную связь было достигнуто применением специального резонансного шунта. Кроме того, оказалось целесообразным включать конденсатор параллельно фильтру. Применение больших емкостей в сглаживающих устройствах заставляет рассчитывать их на критические частоты (100 и 150 Hz), чтобы избежать резонанса всего фильтра на эти частоты. При возникновении такого резонанса появляется не только шум в телефонах, но и такие явления, как внезапные отключения биода на электровозах и в контакторных будках и круговой огонь на коллекторах тяговых двигателей. Автор приходит к выводу, что собственная частота фильтра должна лежать в пределах 50—100 Hz.

Интересно отметить, что подобные явления наблюдались автором реферата и инж. М. И. Михайловым в 1935 г. на Сталинской и Закавказской железной дороге.

В. А. Соловьев

Троллейбусы в Цвикау. *BBC-Nachrichten Bd. 25, Heft, 1, октябрь—декабрь, стр. 159—160, 1938.*

В конце 1938 г. в Цвикау (Саксония) введена в эксплуатацию 14-км линия с двумя троллейбусами оригинальной конструкции. Троллейбусы двухосные, имеют одноэтажный кузов, вмещающий 52 пассажира. Тяговый электродвигатель троллейбуса серийный мощностью 85 kW имеет две якорных обмотки с двумя коллекторами. Двигатель рассчитан на нормальное число оборотов 1600 в минуту. Передача от двигателя к задней оси 1:10,6.

Схема управления предусматривает последовательно-параллельное включение обмоток якоря. Благодаря многоступенчатому (160 ступеней) пуску получается плавный разгон троллейбуса при помощи педального контроллера. Регулируемое тормозное устройство, действующее на принципе токов Фуко, препятствует слишком быстрому нажатию педали и ограничивает тем самым пусковой ток, доводя его до величины, безопасной для прочности передающего механизма. Приборы управления (кулачковый контроллер, пусковые сопротивления и тормоз Фуко) весят всего лишь 180 kg. Общий вес сильноточного электрооборудования 1110 kg. Все аппараты управления, а также индуктивный шунт, максимальный автоматический выключатель, вспомогательный контактор, конденсатор для уменьшения радиопомех, панель с предохранителями и некоторые другие приборы размещены компактно в передней части кузова. Такое расположение аппаратов упрощает проводку кабелей и делает более удобным надзор за ними. Интересной особенностью троллейбусов является одноштанговый токоприемник. Головка токоприемника имеет два изолированных контактных башмака, расположенных на взаимном расстоянии 200 mm. Один башмак прижимается к одному из контактных проводов, второй — к другому. Сила нажатия каждого башмака — 6 kg. Этого нажатия вполне достаточно для безыскрового токоснимания даже при весьма высоких скоростях до 75 km/h. Несмотря на наличие двух башмаков, вес головки токоприемника такой же, как и головок обычного гипа. Благодаря этому для новых токоприемников использованы штанги, пружины и основания токоприемников старого типа. При одноштанговом токоприемнике троллейбусы получили возможность легко делать поворот на 180° после простого переложения (переноса) штанги с токоприемником. Необходимость в устройстве петли или «треугольника» на конечных станциях при этом отпадает.

В. Н. Коновалов

Подземные троллейбусы. *The Electric Journal, стр. 31, январь 1939.*

В Бостоне (США) имеется единственная в мире подземная линия, эксплуатирующая троллейбусы.

Троллейбусы двухосные с одноэтажным кузовом обычной, принятой в США конструкции с двухштанговыми башмачными токоприемниками. Тяговый двигатель — серийный, имеет мощность в 125 л. с. Контактная сеть со-

стоит из двух изолированных проводов, подвешенных в верхней части свода тоннеля на коротких поперечных тросах. Интересно отметить, что по этим же линиям в тоннеле происходит движение электрических моторных вагонов.

В. Н. Коновалов

Alexanderson, Edwards, Willis. Регулирование скорости электродвигателей электронными аппаратами. *El. Eng., июнь, стр. 343—352, 1938.*

Авторы описывают ряд новых схем для электроприводов постоянного и переменного тока с применением ионно-электронных аппаратов. На рис. 1 представлена схема для регулирования скорости асинхронного двигателя с фазным ротором. Эта схема очень похожа на однозонный каскад Кремера при постоянной мощности ($P = \text{const}$). Возможно также исполнение подобного каскада и при постоянном моменте ($M = \text{const}$). Регулирование скорости асинхронного двигателя осуществляется так же, как и в каскаде Кремера, изменением тока возбуждения двигателя постоянного тока. При наличии управляемого выпрямителя пределы регулирования можно расширить путем изменения выпрямленного напряжения. На рис. 2 представлены кривые изменения момента от скорости при комбинированном регулировании. Из кривых видно, что момент двигателя сильно снижается, если уменьшение скорости достигается регулированием напряжения выпрямителя. Кривые рис. 2 получены экспериментально на двигателе 18,7 kW, 110 V. Существенным преимуществом новой схемы является то, что работа выпрямителя не зависит от частоты. Мощность выпрямителя должна приблизительно равняться мощности асинхронного двигателя. Мощность двигателя постоянного тока для схемы $P = \text{const}$ (рис. 1) приблизительно будет:

$$P_{\text{ПТ}} = P_{\text{ас. д.}} (\alpha - 1),$$

где $\alpha = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}$; при $\alpha = 2$:

$$P_{\text{ПТ}} = P_{\text{ас. д.}} \cdot$$

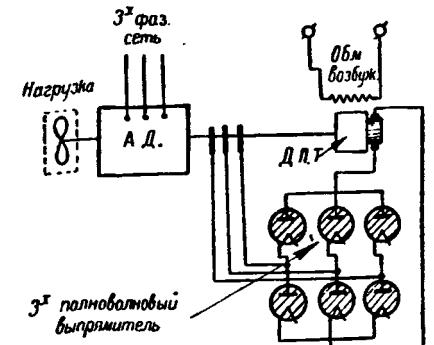


Рис. 1

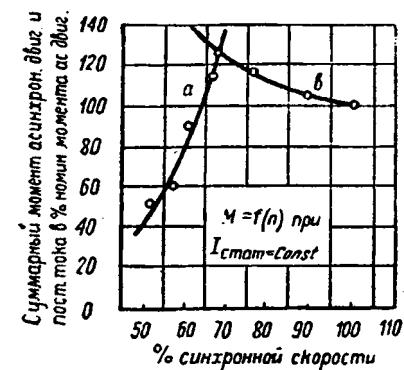


Рис. 2. a — управление выпрямителем, b — управление полем

По схеме рис. 1 при малых скоростях двигатель постоянного тока используется плохо. Если $\alpha > 2$, то более экономично применять схему $M = \text{const}$. Мощность двигателя постоянного тока в этом случае приблизительно будет:

$$P_{PT} = P_{ac. \delta} \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right);$$

при $\alpha = 2$:

$$P_{PT} = \frac{1}{2} P_{ac. \delta}.$$

Из имевшей место дискуссии видно, что такая схема была осуществлена фирмой Вестингауз для привода вентилятора с двигателем 261 kW. В настоящее время этой же фирмой строится привод с двигателем 932 kW.

Для регулирования скорости двигателей постоянного тока весьма целесообразно включать выпрямитель по полноволновой схеме. Для трехфазных цепей с напряжением 220—600 V эта схема дает большую экономию в аппаратуре, так как отпадает необходимость в анодном трансформаторе.

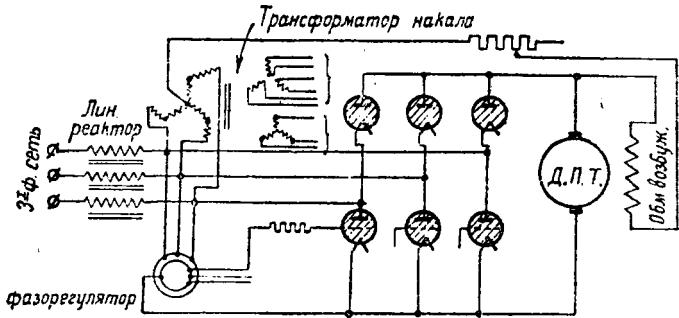


Рис. 3

В схеме рис. 3 сеточное управление применено только для половины тиатронов. Такая схема может быть названа схемой с полуволновым управлением. Преимущества этой схемы в том, что улучшается $\cos \varphi$, особенно при низких напряжениях постоянного тока, снижаются также высшие гармоники в цепи переменного тока.

Причины плохого $\cos \varphi$ при обычном управлении всеми шестью тиатронами в том, что при угле регулирования более 60° напряжение постоянного тока в течение некоторого периода времени изменяет знак. При полуволновом управлении напряжение постоянного тока может дойти до нуля, но никогда не реверсируется. Для полноволнового управления среднее значение напряжения постоянного тока будет:

$$E_{de} = 1,35 E_L \left(\cos \Theta - \frac{X I}{2 I_N} \right) - 2 I_t,$$

где E_L — действующее значение переменного тока;

Θ — угол регулирования;

I_t — падение напряжения в дуге одной колбы;

I_N — номинальный ток;

I — ток нагрузки в цепи постоянного тока;

X — индуктивность в цепи переменного тока в относительных единицах.

$E_{de} = 0$, когда $\Theta \approx 90^\circ$.

При полуволновом управлении

$$E_{de} = 1,35 E_L \left[\frac{(\cos \Theta + 1) - X \frac{I}{I_N}}{2} \right] - 2 I_t,$$

(обозначения те же).

Для того чтобы $E_{de} = 0$, необходимо, чтобы $\Theta \approx 180^\circ$.

Полное восстановление напряжения происходит при угле немного больше того, при котором напряжение равно нулю.

Кроме приведенных схем, в статье описываются несколько однофазных схем с электронными аппаратами для пуска, реверса и торможения небольших двигателей постоянного тока.

Л. И. Полтава

„Если придет война“. *Electric Light and Power*, m. 16, № 10, стр. 32—34, 1938.

Новая империалистическая война бросает свою зловещую тень и на американский континент, заставляя задумываться о готовности страны встретить военную опасность. Отражением ожидания грядущей войны в США является рецензируемая статья, рассматривающая вопрос о подготовке энергосистем к увеличенному спросу на электроэнергию в условиях военного времени.

Существующая мощность электростанций США, сообщает автор, опережает потребность в электроэнергии только на 1—2 года, тогда как желательно, чтобы была установлена такая мощность, которая опережала бы современную потребность в электроэнергии на 3—5 лет.

При этом необходимо учесть, что постройка новых станций, линий и подстанций требует значительного времени. Поэтому для увеличения установленной мощности с учетом потребностей военного времени необходимо использовать период мирного времени. Учитывая, что в военное время будут пиковые нагрузки, продолжающиеся короткое время, в проектировании надо учитывать перегруженную способность оборудования.

Наиболее уязвимой для воздушных атак частью энергосистем являются электрические станции. Поэтому для предупреждения опасности перебоя в снабжении электроэнергией из-за выхода из строя станций необходимо их дублирование и установление надежной связи между отдельными станциями одного и того же района. Эти мероприятия в значительной части уже проведены в условиях мирного времени.

Современные методы защиты на крупных электростанциях (противопожарная система, аварийная сигнализация и т. д.) доведены до высокой степени совершенства; это обстоятельство чрезвычайно затрудняет выполнение диверсионных актов на станциях и позволяет не опасаться возможности вывода из строя целых станций путем диверсий.

Тем не менее для увеличения надежности работы энергохозяйства страны и полного избежания перебоев в снабжении электроэнергией необходимо установить специальные линии передачи, связывающие между собой 15 крупнейших индустриальных центров страны. Однако сооружение таких линий будет оправдано только в том случае, если в каждом центре будут созданы резервы мощности, которые смогут быть использованы в случае перебоя в подаче энергии в любом из связанных между собой центров.

Создание резервов мощности и установление запасных линий связано с капиталовложениями, вследствие чего для проведения всех этих мероприятий необходима финансовая поддержка правительства, — пишет автор.

В. Т. Ренне

С. С. Whelchel. Современные тенденции в области электрического оборудования гидростанций США. *El. Eng.* № 2, стр. 78—82, 1939.

В течение последних 10 лет в США строились гэс равно как открытое, так и закрытого типа. В прошлом было принято устанавливать гидрогенератор выше возможного максимального горизонта воды, что нередко значительно удорожало здание гэс. Наоборот, в ряде последних строительств было найдено экономически целесообразным поместить генератор возможно ближе к турбине, защищая его от паводковых вод с помощью водонепроницаемых стен без окон. Последнее решение приводило к закрытому типу гэс, так как для этого к стенам оставалось добавить лишь верхнее перекрытие. К предельным наибольшим физическим размерам гидрогенераторов для определенного числа оборотов, обусловливаемым механическими напряжениями при разбеге, современная техника уже подошла весьма близко. Применение зонтичных гидрогенераторов имеет определенный верхний предел в отношении скорости и физических размеров. Проведение испытаний этого типа машин по конструктивным соображениям возможно только с присоединенной турбиной, что ведет в рассматриваемом отношении к значительным затруднениям. В США 16,5 kV принято как наибольшее напряжение для гидрогенераторов, вследствие того что по данным поверочных расчетов напряжение на шинах 23 kV и 34,5 kV более надежно, экономично и с тем же к. п. д. могло быть получено путем добавочной установки

повысительных автотрансформаторов к гидрогенераторам напряжением 16,5 кВ. Более глубокое понимание преимуществ, даваемых демпферными обмотками, привело к применению последних в большом числе случаев. Их преимущества: снижение величины перенапряжений в обмотке статора, возникающих в результате несимметричного к. з. на генераторе, особенно при холостом ходе машины, присоединенной к емкостной нагрузке (длинная линия); заметное снижение колебаний активной мощности генератора, происходящих иногда в случае машины, присоединенной к нагрузке через сеть с высоким сопротивлением; умеренная помощь в отношении сохранения устойчивости системы в смысле уменьшения амплитуды колебаний ротора. Замкнутая система вентиляции с поверхностными охладителями применяется для большинства машин мощностью выше 5 MVA. Испытание ротора на разгон производится впервые лишь после монтажа.

Широко применяется так называемая блочная система коммутации. На некоторых гэс применена модификация простой блочной системы, при которой два генератора присоединяются к одной группе трансформаторов, причем каждый генератор имеет свой масляный выключатель. В самые последние годы местные нужды гэс пытаются от малых понизительных трансформаторов, присоединяемых непосредственно или через разъединители к вызодам каждого генератора.

Изложенные в обширной статье принципы американской технической политики в области гидроэнергетики не все представляются бесспорными с точки зрения практики СССР и требуют поэтому критического к ним отношения.

Н. А. Каулов

соединены непосредственно с маслом, находящимся в кожухе трансформатора, вследствие чего при случайном разрушении фарфора бушинга нет опасности для вытекания масла из кожуха. Бушинги для напряжения 220 кВ монтируются в горизонтальном положении на обеих узких сторонах кожуха и полностью укладываются в ж.-д. габариты, а бушинги для напряжения 110 кВ располагаются наклонно на боковой широкой стороне кожуха.

На место 110-кВ бушингов в случае надобности могут быть установлены регуляторы напряжения под нагрузкой для регулирования в пределах $110\,000 \pm 10 \times 872$ В. Расширительный масляный бак, разделенный на ряд камер, помещен на крышке кожуха. Для отправки трансформатора служит специальная 18-осная усиленная ж.-д. платформа длиной 34 т. Транспортный вес трансформатора составляет 165 т, из которых масло весит 38 т.

Н. А. Каулов

Безмасляные выключатели. *The El. Times*, № 2466 121 стр., 26 января 1939.

В настоящее время все крупные фирмы, выпускающие аппаратуру высокого напряжения, заняты разработкой выключателей, не содержащих масла. Прогресс в этом отношении продвинулся уже настолько далеко, что, например, в таких странах, как Германия и Швейцария, масляные выключатели начинают уже выходить из употребления. В настоящее время безмасляные выключатели изготавливаются на все напряжения и на любую мощность. Например, имеются выключатели на 4000 MVA, 200 кВ.

Фирма AEG производит три основных типа воздушных выключателей для всех стандартных напряжений от 3 до 200 кВ: выключатели для установки внутри помещений напряжения до 30 кВ, на разрывные мощности до 600 MVA; выключатели для установки внутри помещений на разрывные мощности до 1000 MVA; выключатели для установки на открытом воздухе на напряжения от 30 до 220 кВ и для установки внутри помещений на напряжение от 30 до 100 кВ.

Каждый выключатель снабжается баллоном, содержащим сжатый воздух, предназначенный для выполнения механических операций и охлаждения дуги. Баллоны выключателей пополняются сжатым воздухом из центральной компрессорной установки.

На рис. 1 изображен воздушный выключатель AEG на 30 кВ, 2000 А и на разрывную мощность 1000 MVA. Баллон с сжатым воздухом прикреплен к раме, которую можно передвигать с места на место.

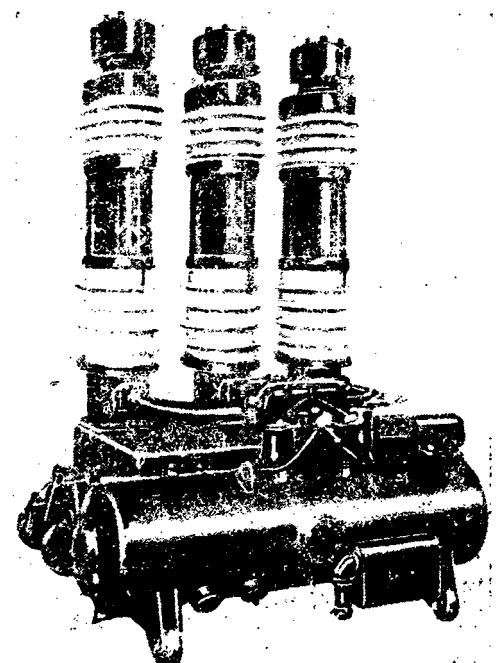
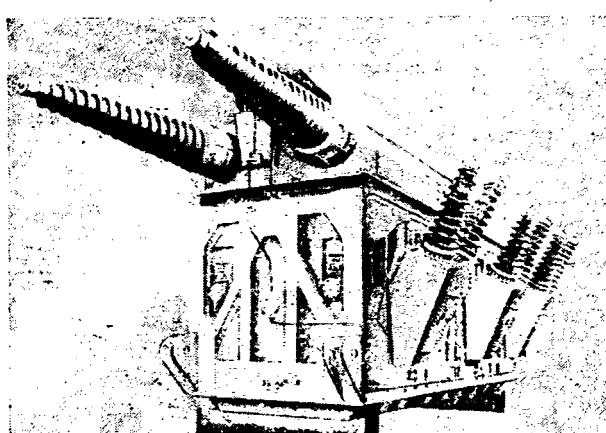


Рис. 1

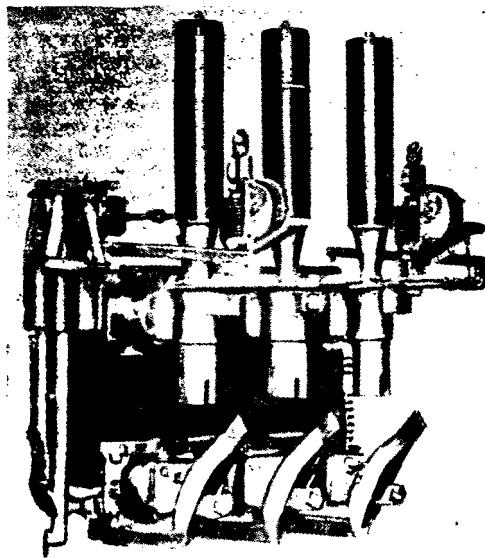


Рис. 2

В выключателях с газовым дутьем дуга гасится специальным химическим составом. Скорость срабатывания выключателя зависит от величины разрываемого тока. Эти выключатели предназначаются для автоматических подстанций, в которых не имеется требующей ухода компрессорной установки, необходимой для воздушных выключателей. Выключатели с газовым дутьем изготавливаются на напряжения до 22 кВ и разрывные мощности порядка 200 MVA.

В настоящее время в эксплоатации в различных установках находятся до 2500 безмасляных выключателей Броун-Бовери. Изготавляются два основных типа для установки: внутри помещений и на открытом воздухе. Первые изготавляются на напряжения до 22 кВ, а последние — на напряжения от 22 до 220 кВ и на любые разрывные мощности. Так например, имеются выключатели на 20 кВ — 1000 MVA; 33 кВ — 750 MVA; 40 кВ — 1500 MVA; 87 кВ — 1000 MVA; 150 кВ — 2500 MVA; 20 кВ — 4000 MVA.

Типичный выключатель Броун-Бовери на 11 кВ, 400 А, 100 MVA показан на рис. 2. Баллон с сжатым воздухом образует основание выключателя, к которому прикреплены все остальные его элементы.

В водяных выключателях Сименс-Шуккерт дуга горит в небольшой камере, содержащей дистиллированную воду и некоторые химикаты. При горении дуги образуется пар, вдуваемый в дугу под давлением. В эксплоатации находится несколько тысяч выключателей этого рода. Они изготавляются на все напряжения до 220 кВ и на любые разрывные мощности и подразделяются на три группы: выключатели с «эластичной» камерой, выключатели с «инжекторной» камерой и выключатели, в которых для гашения дуги вместо воды применяется специальное масло.

Так называемые эластичные камеры характеризуются тем, что дуга, горящая в замкнутом пространстве, приводит к повышению давления, которое слегка приподнимает камеру. В результате получается струя пара, гасящая дугу. Выключатели этого типа на напряжение до 12 кВ могут применяться для выключения сколь угодно больших токов короткого замыкания. Например, в эксплоатации имеется значительное количество таких выключателей на 6,6 кВ, которые могут разрывать токи до 6000 А.

Для напряжений выше 12 кВ (вследствие стремления уменьшить габариты) вместо выключателей с эластичной камерой применяются выключатели с инжекторной камерой. В выключателях этого типа струя воды поступает в дуговую камеру в момент, непосредственно предшествующий началу размыкания контактов. Образующийся зар расширяется в специальной дугогасящей камере. Гасящая жидкость удаляется из выключателя во время его работы при помощи центробежных сепараторов, установленных сверху дугогасящих камер.

Применение воды при напряжениях выше 35 кВ привело бы к чрезмерному увеличению размеров, поэтому при напряжениях от 35 до 220 кВ для гашения дуги применяется специальное масло, имеющее очень низкую точку замерзания.

Выключатели последнего типа можно причислить к безмасляным выключателям потому, что количество масла в них не превосходит 2—3% от количества масла, применяемого в обычных масляных выключателях, и, кроме того, потому, что в них масло применяется только для гашения дуги, но не для целей изоляции.

В. В. Соловьевников

Токоограничивающий силовой предохранитель. El. Eng № 1, стр. 67, 1939.

За последние годы европейские фирмы много работали над так называемыми токоограничивающими высоковольтными предохранителями, постепенно уменьшающими ток к. з. до нескольких процентов расчетной величины, а затем бесшумно размыкающими цепь без выделения газов. Были выпущены первые образцы предохранителей с мелкозернистым наполнением, не получившие, однако, распространения из-за частых разрывов гильз.

От указанных недостатков свободен недавно выпущенный американский предохранитель, схематически изображенный на рис. 1.

Предохранитель состоит из одной или нескольких в зависимости от величины рабочего тока параллельно соединенных серебряных жилок, намотанных спиралью на опорный стержень из тугоплавкого изолирующего материала. Стержень с намотанными на нем жилками погружен в пайрексовую трубку, наполненную мелкозернистым кварцем. Концы жилок приварены к медным полоскам, в свою очередь приваренным к токоподводящим крылечным зажимам. В средней части жилки на небольшой длине отделены от окружающего песка теплоизолирующими оболочками из тугоплавкого керамического материала. Сквозь осевое отверстие в опорном стержне пропущена тонкая жилка. Верхний конец ее припаян к верхней токоподводящей полоске, а нижний — к тонкой сигнальной пластинке. Часть пространства под нижним концом стержня заполнена массой, выделяющейся при нагреве газы. Из-за давления последних пластина выпячивается наружу и сигнализирует этим о перегорании вставок.

Процесс к. з. и гашения дуги показан на осциллограммах, приведенных в статье. В момент *a* начинается быстрое увеличение тока, а несколько позже — испарение серебра, заканчивающееся в *b*. Образующаяся в этот момент дуга гаснет в *c*. При расчетном токе к. з. в 60 000 А (среднеэфективная величина) максимальная величина его в момент *b* не превышает 2000 А. Испаряющееся серебро оседает на холодной поверхности песчинок, и давление в гильзе почти не повышается. С уменьшением поперечного сечения испаряющихся вставок многократно увеличивается сопротивление их. Это ограничивает величину тока и в то же время увеличивает сопротивление сечения. Оба обстоятельства облегчают гашение дуги, защелкой к тому же в небольшой щели, прежде занимаемой вставками. При не слишком больших токах, когда жилка не успевает испариться до наступления максимума, предохранитель работает, как обычный дугогасящий без предохранительного токоограничения.

При минимальной перегрузке, когда вставки плавятся на 30 минут, гашение дуги происходит через несколько полупериодов.

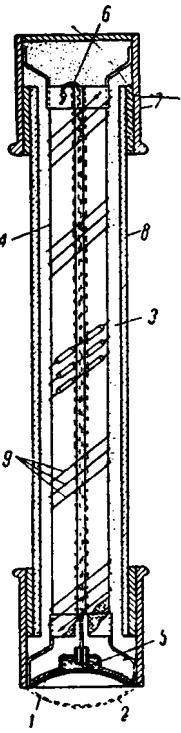


Рис. 1

1 — сигнальная пластина до действия предохранителя; 2 — гильза после действия; 3 — наполнитель — кварцевый песок; 4 — седечник; 5 — состав, выделяющий газы; 6 — средняя жилка

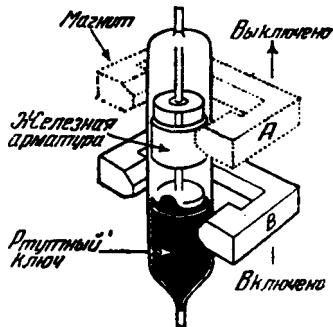
Описанные предохранители на напряжения от 2500 до 23 000 В испытывались в количестве нескольких сот штук с реакторами и без них.

Быстрота действия и надежность описанного предохранителя, абсолютная бесшумность его и отсутствие следов газообразования делают его незаменимым для малых и средних понизительных подстанций закрытого типа.

Н. С. Тейтель

Вакуумные выключатели с постоянными магнитами.
The El. Times, 16 февраля 1939.

Развитие производства новых сплавов с высокой коэрцитивной силой (никель-алюминиевые и кобальт-алюминиевые стали) весьма расширило область применения постоянных магнитов. В реферируемой статье описаны новые типы вакуумных выключателей с ртутными контактами, включение которых производится при помощи постоянных магнитов. Схема работы подобного выключателя ясна из рисунка.



При перемещении магнита перемещается и железная арматура, плавающая в ртути, вытесняемая при этом ртуть замыкает контакты.

В другом варианте конструкции выключение производится при помощи удаляемого затем переносного магнита. Это избавляет от необходимости помещать выключатели в запирающиеся на ключ ящики.

В статье указывается, что подобные выключатели могут быть применены всюду, где применяются механически перемещаемые контакты, например, в сигнальных устройствах, в схемах блокировки для блокировки дверей в лифтах и т. д.

Очевидно, что выключатели и контакторы, основанные на этом принципе, найдут широкое применение в случаях, когда недопустимо применение открытых контактов (шахты, взрывоопасные производства и т. д.).

А. И. Фройман

M. C. Miller. Применение конденсаторов. *Electric Light and Power*, т. 16, № 10, стр. 46-54, 1938.

Промышленность и электрокомпании начали предъявлять повышенный спрос на конденсаторы; наряду с применением конденсаторов в промышленных установках появились также требования на конденсаторы, пригодные для монтажа на открытых подстанциях и непосредственно на столбах воздушных распределительных линий. Конденсаторная промышленность выпустила специальные типы конденсаторов, рассчитанные на условия работы на открытом воздухе и снабженные приспособлениями для крепления на столбах. В настоящее время на нормальных столбах устанавливают батареи конденсаторов на реактивную мощность до 180 kVA.

Стоимость конденсаторов на рабочее напряжение 2300 V снижена до 7 долл. на 1 kVA.

Современные конденсаторы оказываются весьма надежными в работе; проверка 2300 установленных единиц показала, что пробоев или перегорания предохранителей от перегрузки высшими гармониками не наблюдалось, не было замечено ни одного случая резонанса напряжений: всего лишь 3 конденсатора были пробиты вследствие прямого удара молнии. В эксплуатации конденсаторы ведут себя не хуже и даже лучше, чем какой-либо иной вид электрической аппаратуры распределительных сегей.

В. Т. Ренне

ПОПРАВКА

в журн. „Электричество“ № 4, 1939 г.

Напечатано:

В статье Д. А. Завалишина на стр. 30, левая колонка, 27-я строка сверху:

вторично напечатана строка 24-я этой же колонки

В статье Л. М. Шницера на стр. 48, правая колонка, 26-я строка снизу:

... должна обязательно измеряться.

Следует:

тиратрона. Такая „коммутация напряжением“ служит, как

... должна обязательно изменяться.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Бороться за культуру на электростанциях и в электропромышленности СССР!	1
<i>Первухин М. Г.</i> — К новому подъему в работе электростанций и электропромышленности СССР	3
<i>Иоффе А. Ф.</i> — Полупроводники в современной физике и технике	5
<i>Левинзон А. З. и Дунаев Ю. А.</i> — Мощные медно-закисные выпрямители	10
<i>Крапивин В. К.</i> — Современные ртутные выпрямители	15
<i>Цверава Г. К.</i> — Из опыта эксплуатации советских мощных ртутных выпрямителей	24
<i>Петухов Н. Н. и Дроздов В. И.</i> — Условия разрыва дуги металлического ртутного выпрямителя	27
<i>Уайт Д. К.</i> — Обратные зажигания в высоковольтных ртутных приборах низкого давления	29
<i>Сердинов С. М.</i> — Электрификация железных дорог СССР	31
<i>Светлов П. А.</i> — О некоторых задачах электрификации железных дорог СССР	38
<i>Широкогоров Б. Н.</i> — О работах по однофазному двигателю 50 Hz для электрических железных дорог	40
<i>Тихменев Б. Н. и Чекмарев Н. О.</i> — Опытный электровоз однофазного тока 50 Hz	43
<i>Башук И. Б.</i> — Конденсаторные двигатели в применении к электрической тяге	45
<i>Кляцкин И. Г.</i> — Генрих Герц и современная радиотехника	48
<i>Ламтев Н. Н.</i> — Гастон-Планте	52
Электричество на международной выставке в Нью-Йорке	54
<i>На обложке</i> — Модель ДнепроГЭСа и скульптура рабочего, держащего рубиновую звезду, — на Международной выставке в Нью-Йорке (фотомонтаж).	

ИЗДАТЕЛЬ ГОНТИ

Технический редактор А. П. Александрова
Зав. редакцией М. Г. Башкова

Отв. редактор Я. А. Климовицкий

В набор 16/V, дополн. 1/VI 1939 г. Подп. к печати 21/VI 1939 г. Стат. ф. 226 × 293, 1/8. Печ. л. 10,5. Авт. л. 14,16. У. а. л. 14,96.

1-я Журн. тип. ГОНТИ. Москва, Денисовский пер., 30. Печ. зи. в л. 57974. Заказ 1129. Главл. А-9827 Тираж 10 100 экз.

SWISS JEWEL Co. S. A.
LOCARNO (Швейцария)

Технические камни

для электрических
счетчиков и измери-
тельных приборов.

Необработанные синтетические драгоценные камни

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При выписке каталогов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



НАЧИНАЯ ОТ
ИЗОЛИРОВАННЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРОВОЛОК И
КАБЕЛЕЙ...

...ВПЛОТЬ ДО
БРОНИРОВАННЫХ
КАБЕЛЕЙ

LES CABLES DE LYON

MANUFACTURE DE FILS ET CABLES ELECTRIQUES DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ
CABLERIES DES CABLES DE LYON ET DE LA SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES TÉLÉPHONES RÉUNIES
170-172, AVENUE JEAN-JAURÈS, LYON (ФРАНЦИЯ)

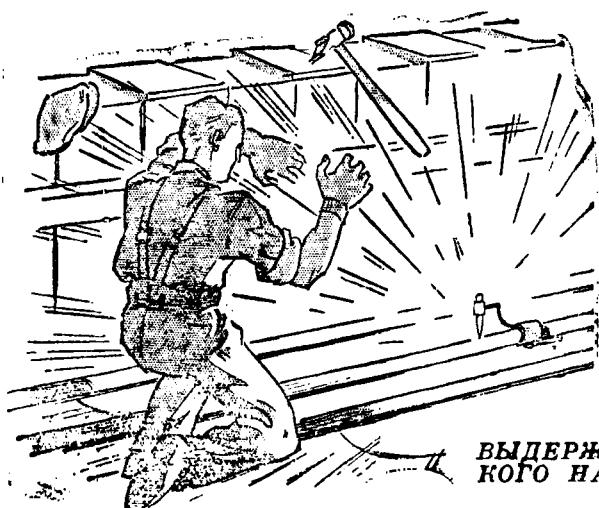
Свинцовые кабели

для сильных токов, телефона,
телефа, сигнализации, радио
и телевизии, а также принад-
лежности к ним.

Провода с резиновой изоляцией любого назначения

Изоляционные трубы

Неужели Вы прокалываете Ваши кабели, чтобы убедиться, есть ли в них ток?



ВЫДЕРЖКА ИЗ ИНСТРУКЦИИ ПО УХОДУ ЗА СЕТЯМИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОДНОГО КРУПНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

..... и если, при вскрытии грунта, возникает малейшее сомнение относительно правильности местонахождения кабеля, то необходимо проверить его положение по плану при помощи поверочных испытаний...“

Испробовали ли Вы для этих испытаний прибор для местонахождения кабеля фирмы

Standard?

Бесчисленное множество несчастных случаев вызываются ошибками при распознавании кабелей.

Испытательный прибор “Standard” является единственным аппаратом на рынке, безошибочно определяющим любой кабель на любом участке.

Этот прибор отличается простотой конструкции и мгновенностью действия. Если Вы до сих пор еще не приобрели этих приборов, то просим затребовать проспект и цены.

Standard Telephones and Cables Limited

NORTH WOOLWICH, LONDON, E. 16 - АНГЛИЯ
Телегр. адрес: WESTOPHONE, LONDON.

Отделения и представительства во всем мире

Н. В. NEDERLANDSCHE КАБЕЛЬФАБРИЕК

DELFT (Голландия)

■■■■

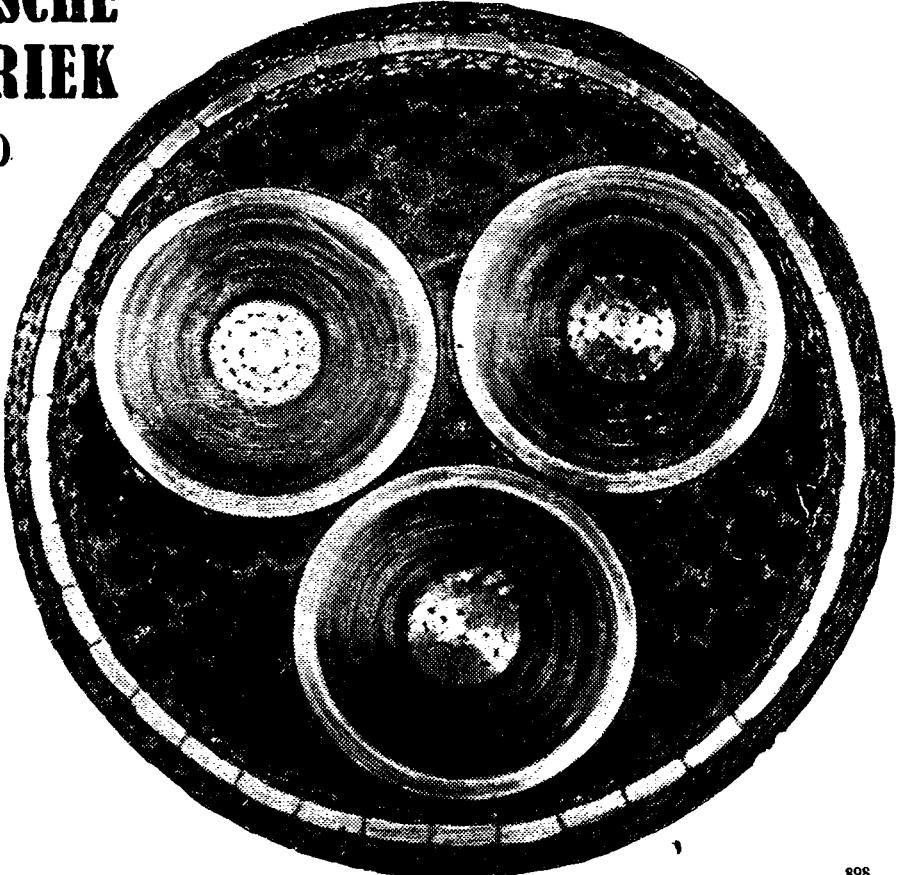
ПРОИЗВОДИТ:

Подземные электрические
кабели высокого и низкого
напряжения с бумажной
изоляцией

Подземные телефонные и
сигнализационные кабели

Подводные кабели

Незолированную проволоку
и незолированные кабели
из электролитической меди



898

Имеется лишь один

изоляционный материал для токов высокой частоты, поддающийся механической обработке, — это

MYCALEX

керамический материал, разрешивший проблему изоляции.

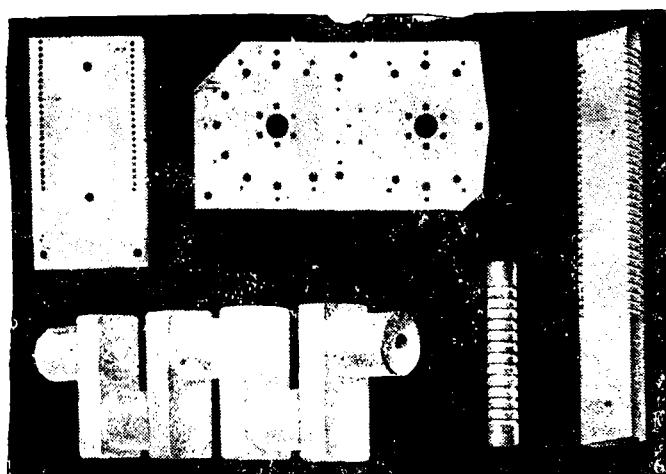
Mycalex обрабатывается механически так же легко, как мягкая сталь

Детали, указанные на рисунке, сработаны на наших заводах при помощи обыкновенных быстрорежущих резцов

В числе наших крупных покупателей значатся:

Admiralty
Air Ministry
Post Office
War Office
British Broadcasting Corporation
British Thomson-Houston Co., Ltd.
Crompton Parkinson, Ltd.
General Electric Co., Ltd.
Marconi's Wireless Telegraph Co., Ltd. and Associated Companies
Metropolitan-Vickers Electrical Co., Ltd.
A.E.G. Germany
General Electric Company of America
Ministry of Marine, France
Philips Radio Holland

Radio Corporation of America
Dutch Government Radio
U.S.A. Admiralty Dept.
Westinghouse Electric & Manufacturing Co., U.S.A.
Aeronautical & General Instruments, Ltd.
Baird Television, Ltd.
Dubilier Condenser Co., Ltd., Ferranti, Ltd.
National Physical Laboratory, Teddington
Plessey Co., Ltd.
Standard Telephones and Cables, Ltd., and Associated Companies
H. W. Sullivan, Ltd.
Telegraph Condenser Co., Ltd.
Western Electric Co., Ltd.



MYCALEX

MYCALEX (Parent) Co. Ltd.

100, VICTORIA STREET, LONDON, S.W.1, АНГЛИЯ

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

ПЕРЕРЫВ ТОКА... ...БЕЗ ПЕРЕРЫВА

ОБСЛУЖИВАНИЯ

В НЕСКОЛЬКО СОТЫХ ДОЛЕЙ СЕКУНДЫ...

выключатель **DELLE**

с последующим
УЛЬТРА-БЫСТРЫМ включением

устраняет неисправность без перерыва в работе.

Этот аппарат состоит из двух „ортожекторов“ в последовательном соединении.

В случае мгновенного повреждения (например удар молнии) выключатель В раз'единяет и через известный, заранее регулируемый, промежуток времени вновь включает ток. (Время, необходимое для этих двух операций, не превышает сотых долей секунды).

При затяжном повреждении перерыв тока обеспечен выключателем А.

ОСОБЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

Исключительная безопасность в работе благодаря двум, друг от друга независимым, отдельным камерам выключения.

Максимальная гибкость в работе благодаря возможности использования или устранения приспособления для повторного включения.

Возможность утилизировать установку повторного включения как запасную камеру выключения.

Ateliers de Constructions Électriques de

DELLE

Брошюра высылается по требованию бесплатно

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Société Anonyme au capital de 16.000.000 de francs

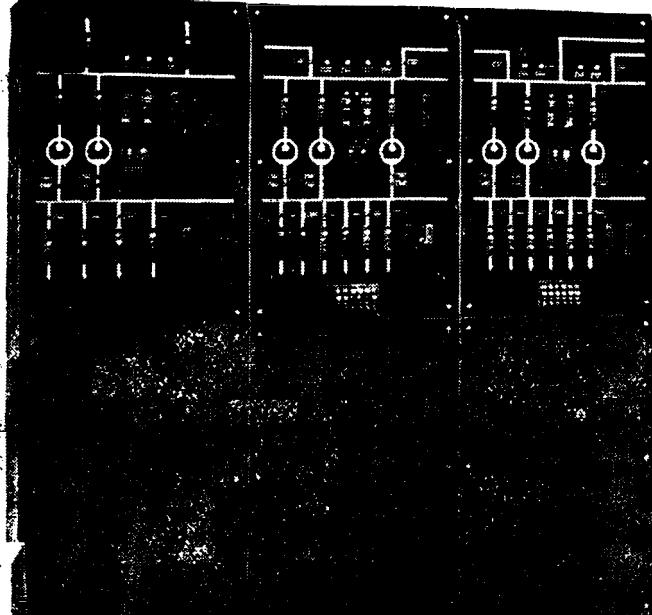
25, Chemin de Cyprian, VILLEURBANNE, Rhône, Франция.

КОНТРОЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА А.Т.М.

сист. STROWGER для электрических жел. дорог

CONTROL
PANELS

OPERATING
EQUIPMENT



Распределительные доски

Требуйте подробный информационный материал

AUTOMATIC TELEPHONE & ELECTRIC CO. LTD.

Norfolk House, Norfolk Street, LONDON, W.C.2. - АНГЛИЯ

Телегр. адрес : "AUTELCO", LONDON

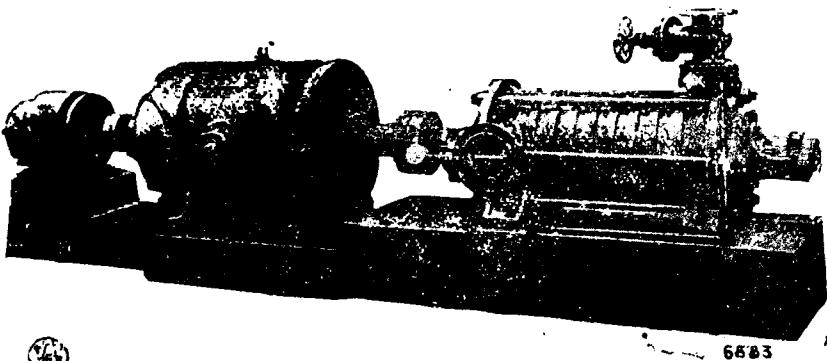
Адрес завода : STROWGER WORKS, LIVERPOOL. 7. - АНГЛИЯ



Аппаратура для обслуживания

A. C. E. C.

Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi
CHARLEROI (БЕЛЬГИЯ)

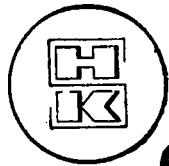


ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ НАСОСЫ

для всяческих целей

Любой производительности -+ Любой давления -+ Любой мощности

МНОГОЧИСЛЕННЫЕ РЕФЕРЕНЦИИ



УЛЬТРОМАТ

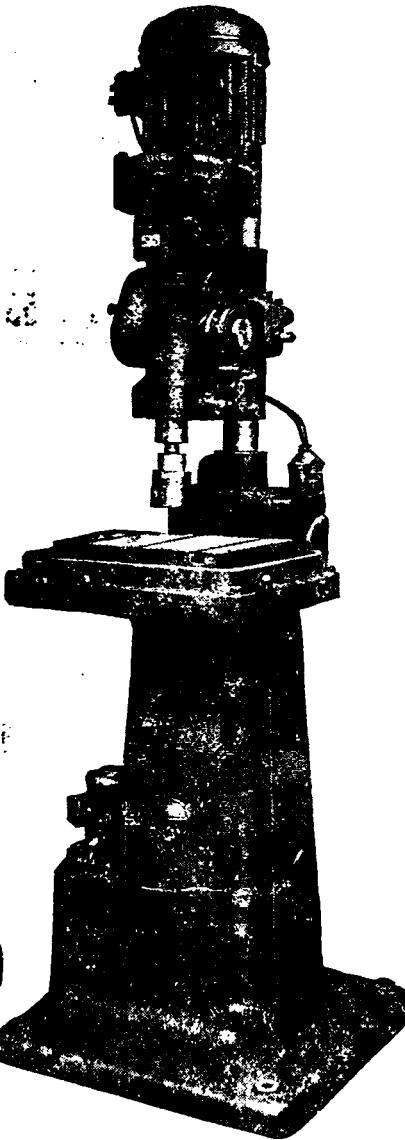
автоматический
резьбонарезный станок
с электрическим включением

Автоматизация рабочего процесса / Надежное электрическое управление / Точное ограничение глубины подачи / Высокое число оборотов / Полное использование производительности быстро-режущих резцов / Точная работа передачи, отсутствие муфт и дифференциальных передач / Простое обслуживание / Очень высокая производительность

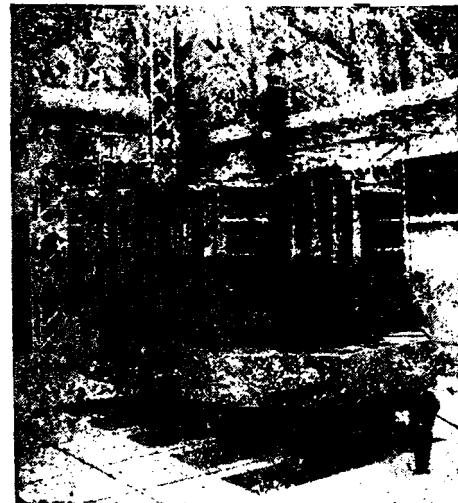
Требуйте наш проспект № 835

HAHN & KOLB • STUTTGART
ГАН и КОЛЬБ • ШТУТГАРТ

6747



SAVOISEINNE
СООБЩЕСТВО СО СОБСТВЕННОСТЬЮ
SAVOISEINNE
ФРАНЦИЯ



Трансформатор 40.000 KVA—15/220 кв.

ТРАНСФОРМАТОРЫ Конденсаторы

„ИЗОЛА“

изоляционные материалы для
электротехники

Изделия „мика“

Фибры, пропитанные бакелитом

Пропитанное сукно, пропитанный шелк

Изолировочная бумага

Пропитанные ткани

Пропитанный азбест

Изоляционные лаки

Изолированная проволока :

телефонная проволока,
эмалированная проволока,
изолирующая лента,
азбеститовая проволока

Изолирующие трубы (не на тканной основе)
Софлекс

**Fabrique Suisse d'Isolants
Bretonbac (Швейцария)**

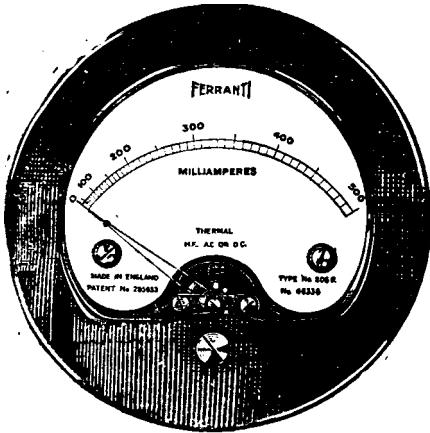
Устойчивость и надежность

Это те свойства приборов Ферранти, благодаря которым они пользуются прекрасной репутацией во всем мире.

Тепловые амперметры, пригодные для цепей высокой частоты, имеют шкалы диаметром в 2½" и 2".

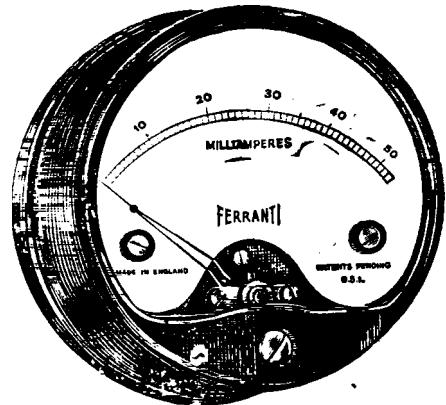
Они построены по принципу термоэлементов с открытыми элементами для 250 миллиампер и выше и с элементами, заключенными в стеклянную оболочку для пределов измерения меньше 250 миллиампер.

П. 53 г.



Эти приборы могут поставляться для пределов измерения от 15 миллиампер до 25 ампер.

Исключительно высокая способность нести перегрузку при всех пределах измерения.



Просим залоговать проспекты JN 1 и JN 3, в которых приведены подробные данные как об этих, так и других приборах с подвижной катушкой, с выпрямителем, подвижным магнитом и о приборах электростатического типа.

FERRANTI LTD., HOLLINWOOD, LANCS, АНГЛИЯ

F.I. 41

НКЛП

СССР

СОЮЗНАЯ ПРОЕКТНО-МОНТАЖНАЯ КОНТОРА

„ЭНЕРГОСТРОЙЛЕГПРОМ“

УКРАИНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ПРИНИМАЕТ К ПРОИЗВОДСТВУ РАБОТЫ

I. ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ:

- 1) НОВЫХ ПАРОТУРБИННЫХ, ДИЗЕЛЬНЫХ, ЛОКОМОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ, КОТЕЛЬНЫХ и т. д.
- 2) РЕКОНСТРУКЦИИ И РАСШИРЕНИЮ ПАРОТУРБИННЫХ, ДИЗЕЛЬНЫХ, ЛОКОМОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЙ, КОТЕЛЬНЫХ и т. д.
- 3) ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ, ПОДСТАНЦИЙ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ФАБРИЧНО-ЗАВОДСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ и т. д.

II. ПО МОНТАЖУ:

- 1) ТЕПЛО-МОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ ПО НОВЫМ И РЕКОНСТРУИРОВАННЫМ ПАРОТУРБИННЫМ, ДИЗЕЛЬНЫМ И ЛОКОМОБИЛЬНЫМ СТАНЦИЯМ, КОТЕЛЬНЫМ и т. д.
- 2) ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ РАБОТЫ ПО ЛИНИЯМ ПЕРЕДАЧ, СЕТЯМ, ПОДСТАНЦИЯМ, ФАБРИЧНО-ЗАВОДСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ, НАРУЖНОМУ И ВНУТРЕННЕМУ ОСВЕЩЕНИЮ и т. д.

Украинское Отделение „Энергостройлегпром“ специализировало свою работу в основном по ТЕКСТИЛЬНОЙ, ТРИКОТАЖНОЙ, ШЕЛКОВОЙ, КОЖЕОБУВНОЙ, СТЕКОЛЬНОЙ, ШЕРСТЕСУКОННОЙ, ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ и другим отраслям промышленности системы НКЛП.

Организациям и предприятиям, заинтересованным в передаче вышеперечисленных работ Украинскому Отделению „Энергостройлегпром“, надлежит обращаться по адресу:
г. ХАРЬКОВ, Дом Проектов, 2-й подъезд, 4-й этаж, У. О. „Энергостройлегпром“. Телефоны: Управляющего 9-72-03. Секретариата 9-78-00.



КНИГОСБЫТ ГОНТИ

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ:

БУЙЛОВ А. Я. Выключатели переменного тока высокого напряжения. ОНТИ. Гл. ред. энергетической л-ры. 1936. Стр. 348. Ц. в пер. 5 р. 50 к.

Книга посвящена вопросам теории и практики высоковольтного выключателестроения; рассматриваются основные положения теории выключателей, выбор и определение характерных параметров.

Пособие для студентов энергетических вузов.

ВАГНЕР К. Ф. и ЭВАНС Р. Д. Метод симметричных составляющих в применении к анализу несимметричных электрических цепей. Перев. с англ. ОНТИ. Гл. ред. энергетической л-ры. 1936. Стр. 408. Ц. в пер. 5 р. 75 к.

Подробное руководство по расчету токов коротких замыканий методом симметричных составляющих. Изложение иллюстрировано многочисленными схемами, графиками и примерами.

Учебное пособие для энергетических вузов; может служить пособием для инженерно-технических работников.

ГАУФФЕ Г. Геометрические места в технике сильных токов. Введение в теорию и применение. Перев. с нем. ОНТИ. Гл. ред. энергетической промышленности. 1935. Стр. 176, Ц. 2 р. 20 к.

В книге подробно излагается теория геометрических мест и практика ее применения к исследованию рабочих свойств линий электропередач и электрических машин.

Для студентов и инженеров-электриков.

ЗАЛЕССКИЙ А. М., проф. Сборник упражнений по технике высокого напряжения. ОНТИ, Гл. ред. энергетической л-ры. 1936. Стр. 184. Ц. в пер. 2 р. 50 к.

Для студентов энергетических вузов, а также для студентов задачных вузов.

ЛИВШИЦ М. Электрические машины. Том. III. Расчет и определение размеров. Перев. с нем. ОНТИ. Гл. ред. энергетической л-ры. 1936. Стр. 412. Ц. в пер. 6 р. 25 к.

Руководство для студентов при самостоятельном проектировании, а также справочник для инженеров-конструкторов.

ПОПОВ В. К., проф. Применение электродвигателей в промышленности. Часть III. Выбор типа электрического привода. ГОНТИ. Ред. энергетической л-ры. 1939. Стр. 312. Ц. в пер. 7 р. 75 к.

В книге рассматриваются вопросы, связанные с выбором рода тока, величины напряжения и типа двигателей. Освещается также проблема улучшения коэффициента мощности в промышленных установках.

Для инженеров и студентов энергетических вузов.

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ по релейной защите. Том II. Составлено „Теплоэлектро-проектом“. (Утверждено Главэнерго НКТП СССР для обязательного применения при проектировании релейной защиты). Под ред. инж. Л. Е. Соловьева и А. А. Фильшинского. ГОНТИ. Ред. энергетической л-ры. 1939. Стр. 262+5 вкл. Ц. в папке 8 р. 25 к.

Содержание: Релейная защита генераторов. Релейная защита трансформаторов. Релейная защита агрегатов генератор-трансформатор. Релейная защита асинхронных двигателей.

Для инженеров, проектирующих релейную защиту электрических систем высокого напряжения; может служить учебным пособием для студентов энергетических вузов.

ПРОДАЖА В МАГАЗИНАХ И КИОСКАХ КНИГОСБЫТА ГОНТИ И КОГИЗА
ЖЕЛАЮЩИЕ МОГУТ ПОЛУЧИТЬ КНИГУ ПО ПОЧТЕ:

Москва, Рыбный пер. 2, помещ. 26 „Техника—почтой“.

Ленинград, В. О., 4-я линия, д. 13 „Техника—почтой“.

Киев, ул. Свердлова, д. № 2 „Техника—почтой“.

КНИГИ ВЫСЫЛАЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ТЕЖОМ БЕЗ ЗАДАТКА