

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1946



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

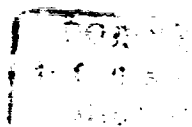
Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

11

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

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Приветствия Всесоюзному электротехническому институту в связи с его 25-летием . . . | 3 |
| <i>М. Ф. Костров и В. Г. Бирюков</i> —25 лет Всесоюзного электротехнического института . . | 5 |
| <i>К. С. Вульфсон</i> —Импульсный разряд в инертных газах | 16 |
| <i>Б. П. Илясов</i> —Новые тиратроны и газотроны | 24 |
| <i>Ф. И. Бутаев, В. Л. Савицкий, Е. Л. Эттингер</i> —Одноанодные ртутные выпрямители . . | 29 |
| <i>В. Л. Савицкий</i> —Мощный одноанодный ртутный выпрямитель | 35 |
| <i>Ю. В. Буткевич</i> —Лаборатория разрывных мощностей ВЭИ | 40 |
| <i>В. И. Пружинина—Грановская</i> —Новый тип линейных объемных сопротивлений „дефар“ | 45 |
| <i>Н. П. Богородицкий и И. Д. Фридберг</i> —Конструирование и расчет мощных высокочастотных конденсаторов | 50 |
| <i>Х. Ф. Фазылов</i> —Обобщенный метод расчета потокораспределения мощностей в сложных цепях | 54 |
| <i>Я. С. Эпштейн</i> —Электромеханические усилители ВЭИ | 59 |
| <i>А. Б. Барзам</i> —К вопросу расчетов токов короткого замыкания и действия релейной защиты | 62 |
| <i>Д. В. Голубев</i> —Расчет магнитной цепи генератора, сохраняющего неизменный поток в якоре | 65 |
| <i>Л. А. Люстерник</i> —Вычисление собственных значений и функций на электрической схеме | 67 |
| <i>Г. Б. Меркин</i> —К определению активного сопротивления обратной последовательности в синхронных машинах | 68 |
| <i>А. И. Фюрстенберг</i> —Лампочка накаливания как индикатор для электрических и радиотехнических измерений | 69 |
| Дискуссии | 73 |
| Из истории электротехники | |
| <i>П. И. Воеводин</i> —Никола Тесла (к 90-летию со дня рождения) | 78 |
| Хроника | 81 |
| Библиография | 88 |
| Рефераты | 91 |



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

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

ВСЕСОЮЗНОМУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ

Президиум Академии Наук СССР горячо приветствует Всесоюзный электротехнический институт в связи с исполнившимся 25-летием деятельности института.

Созданный при непосредственной поддержке В. И. Ленина в первые годы Советской власти, Всесоюзный электротехнический институт своими научно-исследовательскими работами во многом способствовал развитию электропромышленности и энергетики СССР. ВЭИ принадлежит ряд выдающихся исследований в области физики газового разряда, электровакуумной техники, светотехники, аппаратуры высокого напряжения, грозозащиты, электротехнических материалов и в других областях электротехники. Значительное число этих работ удостоено Сталинских премий.

Для выполнения нового пятилетнего плана восстановления и развития народного хозяйства требуется объединение творческих усилий всех научно-исследовательских учреждений страны и поэтому Академия наук СССР придает особо важное значение кооперации работы своих институтов с ведущими отраслевыми институтами, к числу которых относится ВЭИ.

Президиум Академии наук СССР желает руководству и всему коллективу научных сотрудников Всесоюзного электротехнического института новых успехов в дальнейшей деятельности, которая несомненно во многом будет содействовать разрешению больших задач, поставленных И. В. Сталиным перед советской наукой.

*Президент Академии наук СССР
Академик С. И. Вавилов*

*Академик-секретарь Академии наук СССР
Академик Н. Г. Бруевич*

ВСЕСОЮЗНОМУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ

Редакция журнала „Электричество“ поздравляет коллектив научных и инженерных работников Всесоюзного электротехнического института в связи с исполнившимся двадцатипятилетием его существования.

За четверть века Всесоюзный электротехнический институт — один из первых советских научно-исследовательских институтов — завоевал широкую и почетную известность. Своими научно-исследовательскими работами ВЭИ обогатил достижения отечественной электротехники во многих областях.

Работники института принимали деятельное участие в журнале „Электричество“, являясь авторами и редакторами многих научных статей, опубликованных в журнале.

Редакция шлет дирекции и всему коллективу ВЭИ наилучшие пожелания и выражает уверенность, что Всесоюзный электротехнический институт успешно и своевременно разрешит поставленные перед ним электропромышленностью серьезные научно-исследовательские задачи по новому сталинскому пятилетнему плану.

Редакция журнала „Электричество“



РАБОТНИКИ СОВЕТСКОЙ НАУКИ! ОБОГАЩАЙТЕ НАУКУ И ТЕХНИКУ НОВЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ, ИЗОБРЕТЕНИЯМИ И ОТКРЫТИЯМИ! ОБЕСПЕЧИМ ДАЛЬНЕЙШИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС ВО ВСЕХ ОТРАСЛЯХ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СТРАНЫ!

(Из призывов ЦК ВКП(б) к 29-й годовщине Великой Октябрьской Социалистической революции)

25 лет Всесоюзного электротехнического института

М. Ф. КОСТРОВ и В. Г. БИРЮКОВ

Двадцать пять лет назад по указанию В. И. Ленина был организован Государственный экспериментальный электротехнический институт (ГЭЭИ), позднее преобразованный во Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ).

До Великой Октябрьской Социалистической революции в России не было по существу своей самостоятельной электропромышленности, не было также и соответствующих научно-исследовательских институтов и лабораторий. Всесоюзный электротехнический институт обязан своим возникновением победе Октября, предопределившей социалистическую реконструкцию хозяйства страны на базе новейшей техники.

Мысль о создании ГЭЭИ—ВЭИ возникла в связи с разработкой и осуществлением исторического государственного плана электрификации России — ГОЭЛРО.

Вновь организованный институт был призван широко развернуть научно-исследовательские работы по основным направлениям электротехники и тем самым содействовать проведению работ, предусмотренных планом ГОЭЛРО, на наиболее высоком техническом уровне.

Первый период существования института протекал в трудных условиях. Институт вначале не имел ни собственного помещения, ни оборудования, ни достаточного количества квалифицированных научных сотрудников. В качестве первых научных сотрудников вновь организованного института были привлечены имевшиеся в Москве немногочисленные кадры преподавателей электротехников и наиболее способные студенты. Уже вскоре, благодаря большому личному вниманию к созданию ГЭЭИ—ВЭИ со стороны В. И. Ленина институту были предоставлены два больших здания и оказана значительная помощь средствами и оборудованием.

На протяжении всех двадцати пяти лет своего существования ВЭИ всегда пользовался большим вниманием и помощью со стороны пра-

Подведены итоги научно-исследовательской деятельности Всесоюзного электротехнического института за период его двадцатипятилетнего существования. Освещены основные достижения института в различных областях: электрофизики, светотехники, электротехнических материалов, техники высоких напряжений, преобразования тока, электрических машин и электропривода. Намечены задачи института на ближайший период, связанные с выполнением нового пятилетнего плана восстановления и развития народного хозяйства СССР и с необходимостью ликвидации отставания отдельных отраслей электропромышленности от уровня современной техники. Для дальнейшей успешной работы ВЭИ необходимо преодолеть ряд существенных недостатков в самой научно-исследовательской работе ВЭИ и усилить его материально-техническую базу.

вительства, Центрального комитета ВКП(б) и лично товарища Сталина.

Эта помощь и внимание позволили ВЭИ построить новые хорошо оборудованные лаборатории, воспитать большой коллектив высококвалифицированных научных работников во многих областях электротехнической науки, добиться успешного разрешения ряда научных задач и тем

самым превратиться в мощный научно-исследовательский центр СССР.

Огромная заслуга в преодолении всех трудностей организации, строительства и подбора кадров ВЭИ принадлежит энтузиастам создания этого института: первому директору института члену-корреспонденту Академии наук СССР, профессору К. А. Кругу и его заместителям академику В. С. Кулебакину, покойному академику К. И. Шенферу и первому заведующему отделом высоких напряжений заслуженному деятелю науки и техники, проф. Л. И. Сиротинскому, вложившим много сил и энергии в дело создания института и воспитания советских электротехнических кадров.

К 25-летию своего существования Всесоюзный электротехнический институт располагает десятками научных лабораторий, экспериментальных мастерских, полупроизводственных установок, опытным заводом. Своими теоретическими работами в области физики, химии, и в различных разделах электротехники, металлургии, электротехнических и проводниковых сплавов и др. Всесоюзный электротехнический институт широко известен как в СССР, так и за границей. Нельзя не отметить большой роли ВЭИ в деле создания и развития в СССР научно-исследовательских организаций в области электротехники и в смежных с ней областях физики, химии, металлургии и др.

Из состава ВЭИ неоднократно выделялись целые отделы, лаборатории и группы, положившие затем начало организации многих новых само-

стоятельных научно-исследовательских институтов и лабораторий. Большую роль сыграл ВЭИ и в деле подготовки высококвалифицированных работников для других научно-исследовательских институтов и вузов.

Ниже дается краткий обзор выполненных институтом наиболее крупных научно-исследовательских работ.

Электрофизика. С первых шагов своей работы ВЭИ уделил значительное внимание разработке физических и теоретических проблем радиотехники, телевидения, электронных и ионных процессов и светотехники.

Необходимо особенно отметить большой вклад в развитие теоретических основ электротехники, сделанный членом-корреспондентом Академии наук СССР К. А. Кругом.

Среди первых научно-исследовательских работ, отмеченных Сталинской премией, была большая комплексная работа физиков ВЭИ (профессора: В. Л. Грановский, Н. Д. Смирнов, К. С. Вульфсон, инж. В. Т. Родионов).

Еще в начальный период развития советской радиотехники научными сотрудниками ВЭИ (Е. Д. Грехова, В. Н. Капцов, И. С. Гвоздовер и др.) впервые в СССР были разработаны методы получения ультракоротких радиоволн, нашедших широкое применение в последние годы в радиолокации.

Работами ВЭИ по радиотелеграфии и радиотелефонии на коротких волнах (академик Б. А. Введенский, проф. А. Г. Аренберг, М. Л. Слиозберг и др.) был внесен крупный вклад в развитие этой области радио. В то же время ВЭИ принимал активное участие в сооружении первых радиостанций Советского Союза (академик М. В. Шулейкин, профессора: В. К. Виторский, С. Я. Турлыгин и др.) и содействовал широкому развитию новой техники в области проволочной связи (член-корреспондент Академии наук СССР В. И. Коваленков, профессора: В. И. Романов, А. И. Данилевский и др.).

Под руководством академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси проводились работы по теоретической радиотехнике.

ВЭИ занимался и разработкой вопросов телевидения. Так, была разработана передающая и приемная телевизионная аппаратура (кандидаты техн. наук В. И. Архангельский, П. В. Шмаков и др.) с механической разверткой изображения на 1200 элементов (30 строк). На основе этой аппаратуры через мощные московские радиостанции впервые в СССР было организовано телевизионное вещание со звуковым сопровождением. Кроме того, в ВЭИ был разрешен ряд вопросов в области электронных систем высококачественного телевидения.

ВЭИ создал также оригинальную аппаратуру звукового кино (профессора: П. Г. Тагер, И. С. Джигит, А. А. Шишов и др.), на которой демонстрировались первые советские звуковые кинокартины.

Потребности радиотехники, телевидения, звукового кино, техники преобразования и передачи электрической энергии, светотехники и автоматического регулирования и управления электроприводами—явились мощным толчком к постановке в ВЭИ теоретических и практических работ в области электровакуумной техники.

Теоретические и экспериментальные работы ВЭИ по изучению механизма излучения электронов и сложных фотокатодов (проф. П. В. Тимофеев, кандидаты техн. наук А. И. Пятницкий, Р. М. Аронович и др.) послужили основанием для постановки массового производства нескольких типов фотоэлементов, нашедших широкое применение в звуковом кино, телевидении и автоматике. Работы по внутреннему фотоэффекту и фотоэффекту запирающего слоя (проф. П. В. Тимофеев и др.) привели к созданию различных фотоэлементов этого типа для измерительной техники.

Обширные исследования вторичной эмиссии электронов (проф. П. В. Тимофеев, кандидат техн. наук Р. М. Аронович и др.) позволили установить основные закономерности этого явления, развить его теорию, подтвержденную позднейшими работами, опубликованными в зарубежной литературе, и создать новый тип фотоэлемента с большим усилением фототока при питающем напряжении порядка 200—300 В. Применение этого фотоэлемента значительно упрощает и удешевляет установки звукового кино и повышает качество их эксплуатации.

Изучение методов управления электронными потоками привело к производству обширной группы электронных приборов для различных целей. Работа ВЭИ по электронным приборам была отмечена в 1946 г. Сталинской премией (проф. П. В. Тимофеев, кандидаты техн. наук: В. И. Архангельский, В. И. Красовский, Е. С. Ратнер).

В течение последних 15 лет в ВЭИ широко были развернуты научно-исследовательские работы по физике газового разряда и по разработке на основе этих исследований различных типов приборов (профессора: Б. Н. Клярфельд, В. А. Фабрикант, В. Л. Грановский, К. С. Вульфсон, кандидат техн. наук А. М. Шемаев и др.).

Работы ВЭИ по газовому разряду охватили обширный круг вопросов оптики, светоотдачи и яркости свечения газового разряда, поведения разряда при мощных импульсных нагрузках, механизма процессов в положительном столбе и в катодной и анодной областях дугового разряда, пробоя газов и газовых смесей, процессов ионизации и деионизации в разряде и др. Эти теоретические и экспериментальные физические исследования послужили основой для разработки ряда принципиально новых конструкций вакуумных приборов, а также, в частности, многочисленных типов таких газоразрядных и ионных приборов, как неоновые, натриевые и ртутные газоразрядные источники света, ртутные сверхвысокого давления и люминесцентные лампы, импульсные источники света, разрядники для за-

щиты от перенапряжений, тиратроны, тригатроны, игнитроны, ртутные выпрямители, ионные приборы для генерации высокочастотных токов и др.

Значительная часть этих приборов находится в массовом и серийном производстве.

Большое участие принимали научные сотрудники ВЭИ в разработке отдельных процессов электровакуумного производства и в производственном освоении созданных институтом приборов (профессора: П. В. Тимофеев, Б. Н. Клярфельд, кандидаты техн. наук: А. М. Шемаев, В. И. Сорокина и др.).

Светотехника. Указанные работы по газовому разряду положили в ВЭИ начало исследованиям в области светотехники, получившим в дальнейшем большой размах. В настоящее время ВЭИ располагает квалифицированным научным коллективом светотехников.

В ВЭИ было произведено критическое исследование основных положений теории цветов, установлены количественные связи между колориметрическими и фотометрическими величинами, построены новые колориметрические диаграммы. Вместе с этим были разработаны новые методы колориметрических расчетов, создана новая теория цветовых контрастов, усовершенствованы методы расчета специальных светофильтров. Теория световой маскировки и методы аварийного и специального освещения, в том числе с применением люминофоров, разработанные ВЭИ, нашли успешное практическое применение.

В ВЭИ были разработаны все основные типы газосветных ламп: ртутных (низкого, высокого и сверхвысокого давления), неоновых, натриевых. В образцах газосветных ламп была достигнута исключительно высокая светоотдача (до 100 lm/W).

Были разработаны также люминесцентные лампы, организовано опытное производство и применение их. Созданы методы расчета различных типов арматур: зеркальных, призматических, диффузных, сконструированы и изготовлены образцы 30 типов зеркальных светильников для промышленного, культурно-бытового, наружного и других видов освещения.

Внедрены в производство разработанные институтом зеркальные лампы накаливания, объединяющие в своей конструкции источник света и зеркальную арматуру. Специальный тип этих ламп нашел широкое применение для нагрева и сушки промышленных изделий с помощью инфракрасной лучистой энергии.

Большое внимание уделялось разработке методов и приборов для светотехнических измерений и контроля. Были предложены методы фотометрирования цветных источников и выпущены серийно два прибора: универсальный мигающий фотометр и фотоколориметр, показавшие хорошие результаты при практическом использовании. Для контроля осветительных установок была разработана оригинальная и простая конструкция люксметра, а для облегчения массового производственного контроля ламп нака-

ливания — объективный автоматический фотометр и объективный пирометр, применяемые в настоящее время в ламповом производстве. Для измерения коэффициента отражения прожекторных зеркал был сконструирован и построен рефлектометр.

Значительное количество работ было посвящено разработке методов промышленного и архитектурного освещения монументальных сооружений. ВЭИ были спроектированы и осуществлены системы освещения: станций метро первой очереди; монументальных скульптур, установленных при входе в канал Москва — Волга; рубиновых звезд на Кремлевских башнях и в павильоне СССР на Нью-Йоркской международной выставке; ряда объектов на Всесоюзной сельскохозяйственной выставке. Институтом предложена и осуществлена новая система освещения Мавзолея В. И. Ленина. Эта работа была отмечена в 1946 г. Сталинской премией (проф. С. О. Майзель, канд. техн. наук Н. В. Горбачев, инж. Н. Д. Федотов).

Особое место занимают работы ВЭИ по высокоинтенсивным прожекторным углям.

Коллектив прожекторной лаборатории ВЭИ (проф. Н. А. Карякин, канд. техн. наук М. В. Воробанов, инж. В. Д. Комиссаров и др.) исследовал физические процессы и создал теорию прожекторной дуги интенсивного горения. На основе ее коллективом завода «Электроугли» было освоено массовое производство нового типа прожекторных углей интенсивного горения с яркостью, значительно превышающей яркость всех существующих углей иностранного производства. Тем самым был установлен приоритет СССР как в теории, так и в методах производства прожекторных углей интенсивного горения. Эта работа в 1946 г. также отмечена Сталинской премией.

Электровакуумные и светотехнические исследования, равно как и ряд других работ ВЭИ, не могли бы развиваться, если бы успешная работа лаборатории редких газов ВЭИ (канд. техн. наук В. Г. Фастовский) не обеспечила создания методов и аппаратуры для получения и контроля всех редких газов: аргона, неона, гелия, криптона и ксенона.

Теоретические работы, практические методы и аппаратура ВЭИ для получения редких газов и для решения других вопросов техники глубокого холода были приняты для промышленной реализации.

Меньшее значение для развития работ по электровакуумной технике и светотехнике имели исследования института по люминофорам (инж. А. В. Москвин, В. И. Долгополов).

Электротехнические материалы. Большие работы проведены Всесоюзным электротехническим институтом в области научного исследования и промышленного внедрения новых электротехнических материалов: изоляционных, магнитных и проводниковых, как основы развития всех отраслей электротехнической промышленности.

Работы по электроизоляционным материалам в годы сталинских пятилеток

получили особенно большой размах и практическую значимость для народного хозяйства.

Теоретические работы ВЭИ по исследованию электрофизических и химических процессов в диэлектриках послужили основой для разработки рецептуры и технологии большого количества новых электроизолирующих материалов: разнообразных электроизолирующих лаков, слоистых, пластмасс, компаундов, искусственного каучука, керамических сопротивлений, вентиляльных масс и т. д.

Многие из научных разработок ВЭИ по изоляционным материалам, особенно в ранний период существования института, значительно опередили возможности нашей промышленности. Однако, эти работы не только не потеряли своего значения, но, наоборот, в связи с дальнейшим ростом промышленности приобрели в настоящее время особую практическую ценность. К такого рода работам относятся: синтез глифталевых смол (проф. Б. В. Максоров и др.) и негорючих жидких диэлектриков: совола и совтола (проф. К. А. Андрианов, инж. А. К. Варденбург и др.).

Работами проф. Б. В. Максорова и его сотрудников была показана возможность синтеза эластичных глифталевых смол для лака с применением искусственных жирных кислот вместо растительных масел. Смолы, названные «эластиами», обладают исключительной гибкостью и позволили без применения растительных масел изготавливать лаки и лакоткани.

Огромная потребность нашей промышленности в безмасляных глифталевых смолах, при развитии производства синтетических парафиновых кислот, диктует необходимость организации производства этих лаков в ближайшее время.

ВЭИ были выполнены работы по синтезу негорючих жидких диэлектриков — полихлорида дифенила (совола) и полихлоридов бензола (трихлорбензола) и их промышленному освоению. Высокая диэлектрическая проницаемость, хорошие диэлектрические свойства в сочетании с негорючестью говорят об огромном значении этих материалов для народного хозяйства Союза.

В последующем работы по изысканию новых синтетических диэлектриков и изучению их свойств стали основными среди работ ВЭИ по изоляционным материалам. Получили дальнейшее большое развитие работы по синтезу глифталевых смол (проф. К. А. Андрианов, А. Л. Карпова, С. В. Шишкин), на основе которых были разработаны рецептуры клеящих и пропиточных теплостойких лаков для клейки стеклослюдяной изоляции и лаков для получения стеклолакоткани. Применение стеклянкой изоляции на основе теплостойких глифталевых лаков позволяет поднять нагрев электрических машин до 125°С.

Синтез стопроцентных маслорастворимых смол: гексилфенольноформальдегидных, крезольноформальдегидных и оксидифенилформальде-

гидных и эластичных анилиноформальдегидных смол (проф. К. А. Андрианов, инж. О. И. Грибанова, И. Г. Лимова и др.) — позволил создать и освоить в производстве большую группу электроизолирующих лаков, обладающих хорошими электрическими характеристиками и высокой стойкостью к воде, кислотам и щелочам. Оксидифенильный лак при наличии высоких электрических свойств обладает высокой водостойкостью, стойкостью к действию щелочей, щелочных эмульсий минеральных масел и других химических веществ. Этот лак может быть рекомендован для электрических двигателей, работающих в условиях повышенной влажности.

Для создания тонкослойной межвитковой изоляции электрических машин с повышенной механической прочностью была синтезирована новая смола — поливинилформальэтилаль и на ее основе эмальлак — винифлекс (проф. К. А. Андрианов, К. И. Забырина, Л. Н. Южина). Винифлексовая изоляция проводов, обладая повышенной прочностью на истирание (она выше, чем у обычной эмальпровода, в 10—20 раз) позволяет применять провода с такой изоляцией без дополнительной хлопчатобумажной или шелковой обмотки. Эта изоляция, кроме того, обладает большой теплостойкостью, стойкостью к действию бензина, и масел, большой эластичностью. Опыт показал, что применение винифлексовой изоляции повышает мощность электрических машин на 20—30%.

Особый научный интерес и практическое значение для всех отраслей народного хозяйства Союза представляют работы ВЭИ по синтезу высокополимерных кремнийорганических веществ (проф. К. А. Андрианов, инж. О. И. Грибанова и др.). Многолетние теоретические работы по фундаментальным исследованиям механизма образования высокополимерных кремнийорганических соединений (с 1935 г.) привели к разработке рецептуры и технологии обширной группы новейших химических материалов.

Эти высокополимерные соединения содержат в своем составе молекулы, построенные из атомов кремния, связанных с атомами кислорода, и имеют поэтому связи, характерные для кварца, и технологические свойства: гибкость, растворимость, способность полимеризоваться и т. д., характерные для органических смол. Этим объясняется исключительно высокая стабильность новых продуктов, расширяющих рабочие температуры конструкций, в которых они применяются, далеко за пределы стабильности органических соединений.

На основе кремнийорганических соединений получены разнообразные высокополимерные продукты, нашедшие многочисленные применения как в электропромышленности, так и в химической, резиновой, авиационной, металлургической промышленности и др.

Каучукоподобные продукты, синтезированные ВЭИ на основе кремнийорганических соединений, обладают исключительной термической ста-

бильностью, не разлагаются при температурах до 300° и сохраняют эластичность до минус 55° С.

Стеклотекстолит, изготовленный на смолах из кремнийорганических соединений, выдерживает нагревы до 250° С и при 120° С имеет диэлектрические потери, характеризующиеся $\text{tg} \delta = 0,008$ при частоте в 10^6 Hz.

Стеклослюдяная изоляция, гибкий и твердый micaнит, изготовленные на основе кремнийорганических лаков, при высоких температурах, порядка $200\text{—}250^{\circ}$ С, обладают высокими электрическими свойствами (удельное объемное сопротивление более 10^{13} Ω см). При действии более высоких температур в 300° С и более эти материалы не обугливаются.

Пластические массы на основе кремнийорганических смол также имеют при высоких температурах высокие электрические характеристики: $\text{tg} \delta = 0,007$ при температуре в 185° С и удельное объемное сопротивление при температуре 240° С порядка 10^{10} Ω см.

Все эти исключительно ценные свойства кремнийорганических соединений открывают для них обширное поле применения в электропромышленности, позволяют создать ряд новых дешевых, легких, прочных, долговечных конструктивных материалов (авиация, строительные материалы, текстильная промышленность, изделия широкого потребления и т. д.). Работы ВЭИ бесспорно положили начало новой обширной отрасли химии кремнийорганических соединений.

Эти работы в 1946 г. были отмечены Сталинской премией (проф. К. А. Андрианов, О. И. Грибанова).

Для освоения разработок ВЭИ по кремнийорганическим соединениям в настоящее время организованы центральные лаборатории в ряде министерств, работающие под общим научным руководством ВЭИ.

Работы ВЭИ в области пластических масс и компаундов проводились как по изучению электрофизических свойств различных типов этих материалов, выпускаемых промышленностью, так и по разработке новых материалов. Следует отметить, например, разработку универсального прессиорошка с повышенными электрическими свойствами на основе анилинформальдегидных смол (канд. техн. наук С. Н. Устинов), слоистых электроизолирующих материалов, гетинакса и стеклотекстолита на основе фенольноанилинформальдегидной смолы и особенно ценную разработку твердых дугогасящих материалов (С. И. Дженчельская). На основе этих материалов лабораторией коммутационной аппаратуры ВЭИ были разработаны и внедрены в производство серии разъединителей мощности, выключателей, трубчатых разрядников. В ВЭИ были созданы также компаунды для холодной заливки кабельных муфт с высокими электрическими свойствами, компаунды с большой теплостойкостью, морозостойкостью и эластичностью для заливки трансформаторов магнето (канд. техн. наук Н. Н. Соколов, инж. Т. Н. Ганина).

2 Эле. тричество, № 11.

Особое место занимает разработка конструкции водостойкой изоляции погружных мотор-насосов (проф. Н. В. Александров), позволившая создать и внедрить в массовое производство надежно работающие погружные мотор-насосы для нефтяной промышленности. Эта работа также отмечена Сталинской премией.

По интенсификации технологических процессов при производстве электрической изоляции была проведена большая работа (кандидаты техн. наук В. И. Калитвянский, Н. Н. Ермолинский, инж. А. С. Чернишкина, В. М. Дегтев), имеющая важное значение для сокращения сроков технологического процесса и улучшения качества продукции.

Разработанный метод сушки обмоток электрических машин и лакированного динамного железа с помощью инфракрасных ламп сокращает технологический процесс по сравнению с тепловой конвекционной сушкой в несколько раз. Этот метод нашел широкое применение в промышленности.

Применение высокочастотного нагрева в технологии прессования пластмасс и слоистых диэлектриков по методу ВЭИ не только сокращает (более чем в 2 раза) время прессования, но и значительно улучшает качество получаемых продуктов.

Развитие советской электропромышленности выявило острую потребность в исследовании и внедрении в отечественную промышленность новых магнитных, проводниковых и контактных материалов. Многолетние исследования ВЭИ по изучению физической природы и зависимости от различных факторов свойств магнитных контактных и проводниковых сплавов (профессора: А. С. Займовский, Б. Г. Лифшиц, В. В. Усов, канд. техн. наук Б. Р. Лазаренко, инж. И. В. Антик, П. И. Денисов и др.) создали основу для разработки рецептуры, технологии полупромышленного и промышленного производства и применения этих материалов в Союзе. На основе теоретических исследований были разработаны и внедрены в промышленность: сплав кальмаллой для магнитных шунтов, кобальтовые и высококоэрцитивные сплавы для постоянных магнитов, сплавы типа пермаллой с высокой начальной проницаемостью и др.

Большая группа работ была проведена по исследованию трансформаторной стали, методов повышения ее проницаемости и снижения потерь. Вместе с этим изучалось влияние величины зерна, текстуры и других факторов на свойства трансформаторной стали.

Для освоения технологии и обеспечения потребности заводов в новых магнитных сплавах была организована опытная литейная электротехнических сплавов, которая, кроме печи на 200 kg сплава, была оборудована водородной печью для отжига пермаллоя и другой аппаратурой. Эта литейная за 1938—1941 гг. выпустила только постоянных магнитов из сплава альни более двух миллионов штук.

Большая работа была проделана научными сотрудниками ВЭИ на заводах металлургической промышленности по освоению армко-железа, стали для постоянных магнитов, снижению потерь трансформаторной стали и освоению новой марки высшего качества этой стали.

В дальнейшем работы по магнитным материалам перешли в выделившийся из состава ВЭИ институт (директор проф. А. Г. Иосифьян). Там эти работы продолжали также успешно развиваться, и за короткий срок были разработаны новые сплавы: альфониси, магнико, пермендюр, альсиферовые литые сердечники, порошкообразный альсифер и др.

В 1946 г. работы по магнитным сплавам были отмечены Сталинской премией.

Для обеспечения потребностей энергосистем, электрификации промышленных предприятий и сельского хозяйства той же лабораторией ВЭИ были проведены научные исследования по железным и алюминиевым проводам, шинам, контактам для линейной арматуры (проф. В. В. Усов, канд. техн. наук Б. Р. Лазаренко и др.).

Работы ВЭИ по исследованию износа и подбору материалов для разрывных контактов (В. В. Усов, Б. Р. Лазаренко и др.) привели к исследованию процессов электрической эрозии. Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко на основе большого количества экспериментов и при помощи специальной ими же разработанной измерительной аппаратуры, как известно, не только раскрыли физическую природу электрической эрозии контактов, но и нашли блестящее практическое использование этого явления для обработки металлов без применения режущих инструментов. Работы по электрической эрозии были отмечены в 1946 г. Сталинской премией.

Техника высоких напряжений. Широкий масштаб работ по строительству и эксплуатации энергетических систем СССР потребовал развития в ВЭИ научных исследований в области техники высоких напряжений.

Разнообразные климатические условия различных областей, по которым проходили вновь сооружаемые линии электропередач высокого напряжения, поставили перед институтом вопрос о широком исследовании параметров молнии. Эти исследования были поставлены в ВЭИ впервые в СССР и получили большой размах как в лабораторных, так и в полевых условиях, охватив районы Центральной полосы РСФСР, Урала, Украины, Кавказа (проф. И. С. Стекольников, кандидаты техн. наук А. А. Акопяч, Л. И. Иванов, А. П. Беляков, М. Ф. Пашин и др.).

В последующие работы по физике молнии получили дальнейшее развитие в Энергетическом институте Академии наук СССР, а исследования в реальных условиях успешно продолжались ХЭТИ, Академией наук Азербайджанской ССР и Академией наук Грузинской ССР. Одновременно в ВЭИ были разработаны методы и аппаратура для защиты от поражения молнией и от вызываемых ею перенапряжений в энерго-

системах (кандидаты техн. наук А. А. Акопяч, Л. И. Иванов, А. П. Беляков, М. Ф. Пашин и др.).

Материалы всех этих исследований неоднократно освещались в печати и широко известны как в СССР, так и за рубежом.

К этой же группе работ относятся и работы ВЭИ по заземлениям. В результате многолетней комплексной работы института по заземлениям были разработаны методы расчета, проектирования и правила сооружения заземлений, исходя из требований грозозащиты и техники безопасности.

Институт на протяжении многих лет успешно занимается разработкой защитной (от перенапряжений) аппаратуры (кандидаты техн. наук Л. И. Иванов, В. И. Пружинина, В. П. Савельев и др.).

Весь комплекс научных исследований, начиная от физических процессов в полупроводниках и разработки технологий получения вентиляльных масс до конструктивной разработки аппаратов в целом, был направлен к тому, чтобы обеспечить непрерывную модернизацию разрядников и улучшение их эксплуатационных характеристик. Эти аппараты при активном участии научных сотрудников ВЭИ внедрены в массовое производство на заводах электропромышленности (заводы «Электроаппарат» и «Пролетарий») и в эксплуатацию энергосистем.

ВЭИ в течение длительного периода проводил исследование закономерностей разряда и комбинированные электромеханические испытания изоляторов в воздухе при различных атмосферных условиях и загрязнениях воздуха. Результаты этих работ были положены в основу разработки новых типов высоковольтных фарфоровых изоляторов (инж. М. И. Горбунов, кандидаты техн. наук А. В. Ефимов, В. К. Кожухов, А. В. Алмазов, инж. Г. А. Лебедев).

Применение кабелей высокого напряжения и развитие кабельной промышленности Союза потребовали широкого развития работ ВЭИ и в этой области. Методы расчетов, исследования и профилактические испытания, создание электрически прочного кабеля с уменьшенной изоляцией и кабеля на 110 кВ, разработка норм и руководящих указаний по расчетам и эксплуатации и техническая помощь заводам и энергосистемам по производству и эксплуатации кабелей высокого напряжения составляют содержание работы ВЭИ по кабелям (проф. С. С. Городецкий, кандидаты техн. наук Н. Н. Войденков, Р. В. Кулакова, инж. Н. П. Булавенко и др.). В дальнейшем эти работы нашли успешное развитие в Центральной кабельной лаборатории, выделившейся из ВЭИ.

Заслуживают быть особенно отмеченными работы ВЭИ в области высоковольтных трансформаторов, которые послужили основой для создания отечественных серий высококачественных высоковольтных трансформаторов (проф. Г. Н. Петров, проф. В. А. Карасев, Е. Г. Маркварт, кандидаты техн. наук А. В. Панов, П. П. Чусов, С. А. Назаров, инж. Л. А. Мравян, Г. А. Эйдман и др.). Разработана теория

перенапряжения в обмотках трансформаторов; проведены обширные исследования комбинированной изоляции для выбора наиболее эксплуатационно надежных и экономически целесообразных изоляционных расстояний на все диапазоны напряжений, включая и напряжения свыше 220 kV.

Созданы на основе этих работ совместно с Московским трансформаторным заводом им. Куйбышева конструкции советского нерезонирующего грозоупорного трансформатора; выполнены весьма обширные и глубокие исследования по электромагнитным и тепловым потерям трансформаторов (профессора: Г. Н. Петров и канд. техн. наук Е. Г. Маркварт).

ВЭИ имеет пока единственную в СССР лабораторию разрывных мощностей (руководитель проф. Ю. В. Буткевич). Работы ВЭИ в области коммутационной аппаратуры не могли ограничиться физическими исследованиями мощной дуги, теорией контактов, термических и электродинамических явлений, а скоро перешли к разрешению инженерных задач, выдвигаемых проектированием, сооружением, эксплуатацией энергетических систем и освоением производства высоковольтных коммутационных аппаратов в промышленности. Модернизация масляных выключателей, увеличивающая разрывную мощность выключателей в 2--3 раза (проф. А. Я. Буйлов, канд. техн. наук А. М. Дубинин, инж. Б. В. Малевинский), создание отечественных конструкций высоковольтных трубчатых разрядников, предохранителей, разъединителей мощности, выключателей на все диапазоны напряжений (проф. Ю. В. Буткевич, кандидаты техн. наук А. М. Бронштейн, Е. М. Цейров, А. М. Мелькумов, А. М. Дубинин, инж. Ф. Ф. Бабурский), — широко известны работникам электропромышленности и энергосистем. Разработанные ВЭИ коммутационные аппараты внедряются в массовое производство на заводах Министерства электропромышленности и Министерства электростанций.

Следует отметить также работы ВЭИ в области воздушных выключателей, завершившиеся разработкой оригинальной серии аппаратов на 35, 110 и 220 kV (проф. Ю. В. Буткевич, канд. техн. наук Е. М. Цейров и др.). Испытания в сети воздушного выключателя ВЭИ на 110 kV при мощности в 2500 MVA показали хорошие результаты. Завод «Электроаппарат» в настоящее время внедряет в производство эти аппараты.

Проектирование и строительство крупных электростанций и линий электропередач потребовали разработки теории, методики и аппаратуры для расчетов сложных энергетических систем.

Теоретические работы по расчету аварийных режимов (проф. Д. А. Городский) и методике расчета устойчивости параллельно работающих систем (профессора: С. А. Лебедев и П. С. Жданов) являются не только основным руководящим материалом для проектирующих систем и инженеров, но используются и как учебный материал для студентов энергетических вузов.

Эти же работы послужили основой разработки специальных столов для расчета токов короткого замыкания (проф. Д. А. Городский), выпущенных институтом для проектирующих, строительных и эксплуатационных организаций и вузов в количестве нескольких десятков штук, и моделей для расчета сложных энергетических систем при различных режимах работы. Как столы расчета токов коротких замыканий, так и модели сетей, созданные по проекту профессоров С. А. Лебедева и П. С. Жданова (из которых одна универсальная — для Теплоэлектропроекта, а другая — для Уралэнерго), намного облегчили работу энергосистем и проектирующих организаций.

Охватив своей научной работой обширный круг вопросов техники высоких напряжений, ВЭИ, естественно, не мог стоять в стороне и от решения острых текущих вопросов проектирования, строительства и эксплуатации энергосистем. Многочисленные обследования — профилактические и аварийные — подстанций, воздушных и кабельных линий, высоковольтной аппаратуры и трансформаторов, разработка методики и расчета влияния аварийных режимов на провода связи, приемные испытания в эксплуатацию первых экземпляров катушек Петерсена, высоковольтных трансформаторов и выключателей, поставляемых зарубежными фирмами, — дополняют характер работ института в области техники высоких напряжений.

Этот перечень был бы все же неполным, если бы не указать на работу, проведенную ВЭИ по широкой разработке норм, стандартов и руководящих указаний по технике высоких напряжений.

В своей работе научный коллектив высоковольтников ВЭИ тесно связан с промышленностью и энергетическими системами. Большая заслуга в воспитании этого плодотворно работающего коллектива принадлежит заслуженному деятелю науки и техники, проф. Л. И. Сиротинскому. Книжки по технике высоких напряжений, написанные Л. И. Сиротинским и под его редакцией сотрудниками высоковольтных лабораторий ВЭИ, использовавшие богатый материал научных исследований института за многие годы, являются ценнейшими учебными пособиями.

Преобразователи тока. Острая потребность важнейших отраслей промышленности и народного хозяйства (черной и цветной металлургии, химической промышленности, электрифицированных железных дорог, метро, трамвая, электровозной откатки в угольной и горнорудной промышленности) в мощных, эксплуатационно надежных выпрямителях вызвала постановку в ВЭИ исследований по технике преобразования тока. Эти работы протекали на основе физических исследований газового разряда, о которых говорилось выше (работы профессоров Б. Н. Клярфельда и В. Л. Грановского), и на материально-технической базе лабораторий высокого напряжения.

В дальнейшем техника преобразования тока развилась в самостоятельное, крупное направление института, охватившее большой круг научно-исследовательских, теоретических и инженерных вопросов преобразовательной техники (профессора К. А. Круг, И. Л. Каганов, В. Л. Грановский, ст. научные сотрудники И. Л. Рубинштейн, В. Л. Савицкий, Ф. И. Бутаев, Е. Л. Эттингер и др.).

Широкое развитие получили исследования физических процессов в металлических ртутных выпрямителях при различных режимах их работы. В ВЭИ впервые в Союзе были поставлены и разрешены теоретические вопросы, разработаны и осуществлены схемы и аппаратура в области сеточной защиты, управления и инвертирования тока на металлических ртутных выпрямителях. ВЭИ была предложена и разработана конструкция одноанодных ртутных выпрямителей. Несколько типов одноанодных ртутных выпрямителей, выпущенных ВЭИ небольшими сериями, зарекомендовали себя в длительной эксплуатации в условиях работы в шахтах Подмосковского угольного бассейна, метро, трамвая. На основе этих выпрямителей разработаны типы электропривода с управляемыми ртутными выпрямителями для предприятий тяжелой промышленности. Министерством электропромышленности одноанодный тип ртутного выпрямителя включен в номенклатуру новых изделий и осваивается в производстве. Большую помощь оказал ВЭИ в годы Великой Отечественной войны алюминиевой и угольной промышленности в деле восстановления ртутных выпрямителей и снабжения их одноанодными выпрямителями своей конструкции.

Электрические машины и электропривод. Большое значение в деле электрификации народного хозяйства Союза сыграли работы ВЭИ в области электрических машин и автоматизированного электропривода. Круг вопросов, охватываемых этим разделом работ института, весьма многообразен и многочислен. Ограничимся поэтому лишь краткой характеристикой важнейших направлений этих работ. Широко известны теоретические работы в области электромашиностроения многолетнего научного руководителя машинных лабораторий ВЭИ, одного из организаторов института, лауреата Сталинской премии, покойного академика К. И. Шенфера и его сотрудников (акад. В. С. Кулебакин, профессора А. Н. Ларионов, Б. П. Апаров и Е. В. Нитусов, кандидаты техн. наук С. Б. Юдицкий, А. И. Москвитин, Е. Л. Эттингер, Ф. И. Бутаев и др.).

Классические работы академика Шенфера и его сотрудников по коммутации тока в коллекторных машинах приобрели известность в СССР и за границей. Следует в этой же связи упомянуть труды ВЭИ: по переходным режимам синхронных машин; по теории, разработке схем и исследованию синхронных генераторов и машин постоянного тока с электронной и ионной коммутацией; по электрической тяге и рекуперации электроэнергии на транспорте; по теории и исследованию схем вентильных двигателей; по

применению постоянных магнитов в электромашиностроении; по исследованию шума и вибрации электрических машин; по разработкам вопросов вентиляции, охлаждения и нагрева электрических машин; по созданию генераторов постоянного тока высокого напряжения и др.

Значительные усилия внесли научные сотрудники ВЭИ в дело создания серий нормальных электрических машин и разработки стандартов на них, что сыграло важную роль в прогрессе советского электромашиностроения.

В связи с вопросами коммутации электрических машин большое внимание уделялось работам по щеткам как в части рационального выбора щеток и щеткодержателей и создания аппаратуры для их испытания, так и технологии изготовления, которая в дальнейшем была внедрена на Электроугольном заводе (кандидаты техн. наук И. С. Кунц, А. И. Москвитин, С. Б. Юдицкий).

Развитие энергетики и электрификации всех отраслей промышленности Союза потребовало от ВЭИ развертывания работ по промышленным испытаниям и технической помощи энергетическим системам и важнейшим отраслям промышленности по контрольно-приемным испытаниям турбо- и гидрогенераторов и электроприводов, по анализу аварий и профилактическим испытаниям, разработке мероприятий по борьбе с авариями и инструкций по эксплуатации электрических машин всех типов (профессора: А. Н. Ларионов, Д. П. Морозов, Б. П. Апаров, кандидаты техн. наук М. В. Мартынов, М. И. Земляной, М. Ф. Смирнов, П. М. Шитов, С. В. Крауз, Л. Б. Гейлер, В. И. Михеев и др.).

Результаты промышленных исследований ВЭИ дали ценный материал для определения качества и налаживания правильной эксплуатации электрических машин, позволили внести улучшения в конструкции и создать новые типы электрических машин и рационального электропривода для важнейших отраслей промышленности.

Особое место в работах ВЭИ по электрическим машинам занимают исследования, разработка теории и конструкций малогабаритных, легких, высокооборотных и высокоиспользуемых машин постоянного и переменного тока для различных целей и использования их в стационарных и в передвижных установках (профессора А. Н. Ларионов, А. Г. Иосифьян, кандидаты техн. наук С. Б. Юдицкий, Т. Г. Сорокер, С. В. Крауз и др.).

Следует отметить исследования, выполненные в ВЭИ под руководством проф. А. Г. Иосифьяна в области разработки экономичных, высококачественных электрических машин и электрифицированных инструментов для механизации строительных работ и лесоразработок; в области разработки теории и ряда оригинальных систем автоматизированного электропривода с применением электронных приборов, бесконтактных сельсинов первых электромашинных усилителей и т. д. (проф. А. Г. Ио-

сифьян, кандидаты техн. наук А. А. Осмер, Н. М. Якименко, А. И. Якшин, Д. В. Свечарник, Т. Г. Сорокер и др.). Работы по электроприводу были также отмечены Сталинской премией (кандидаты техн. наук А. А. Осмер, Н. М. Якименко, А. И. Якшин).

В настоящее время развитие этих исследований идет в направлении разработки теории и схем новых систем автоматизированного электропривода для отраслей тяжелой промышленности. Получили дальнейшее развитие разработанные институтом теория и методы автоматического регулирования и управления автоматическими устройствами в энергосистемах (профессора С. А. Лебедев, П. С. Жданов, кандидаты техн. наук П. И. Сазанов, А. В. Михайлов, Д. И. Марьяновский, П. В. Чебышев).

Работы по регулированию напряжения, начатые под руководством акад. В. С. Кулебакина, завершились разработкой и производственным освоением нескольких типов угольных регуляторов (М. Е. Азбель, Б. М. Елисеев, А. И. Васильев), нашедших широкое применение в промышленности.

Для повышения статической устойчивости параллельно работающих крупных генераторов, в соответствии с теоретическим анализом, проведенным в ВЭИ действительным членом Академии наук УССР С. А. Лебедевым, был разработан электронный регулятор напряжения (канд. техн. наук Г. Р. Герценберг). Опыт эксплуатации сотен электронных регуляторов, изготовленных ВЭИ и установленных на крупнейших электростанциях Союза, показал, что они превосходят другие типы регуляторов напряжения как по качеству регулирования, так и по надежности в работе. На основе стандартных электронных регуляторов напряжения разработано несколько типов регуляторов напряжения для генераторов постоянного и переменного тока, в том числе повышенной частоты (Г. Р. Герценберг).

Для передачи на расстояние положения различных осей автоматических систем были разработаны методы и аппаратура телепередающих приборов: телеуказателей для различных целей, автоматических потенциометров, бесконтактных сельсинов, аппаратуры автоматического контроля размеров и т. п. (кандидаты техн. наук Д. В. Свечарник, Б. А. Барский и др.).

С целью обеспечить потребности автоматизированных устройств и электропривода в усилителях были разработаны дроссели насыщения мощностью от 3 до 30 kW и электромашинные усилители мощностью от 0,3 до 5 kW (проф. А. Г. Иосифьян, кандидаты техн. наук Я. С. Эпштейн, И. М. Садовский, И. С. Кунц, Ф. И. Бутаев, Е. Л. Эттингер, инж. Н. А. Явлинский и др.).

Теоретические и экспериментальные исследования по регулируемому приводу с управляемыми ионными приборами, разработка и серийный выпуск институтом одноанодных ртутных выпрямителей — обеспечили осуществление автоматизированного электропривода с

управляемыми выпрямителями для ряда установок угольной и металлургической промышленности (кандидаты техн. наук Ф. И. Бутаев, Е. Л. Эттингер и др.).

Под руководством академика В. С. Кулебакина в ВЭИ выполнены теоретические исследования и разработка конструкций автотракторного и авиационного электрооборудования (кандидаты техн. наук Е. П. Богомоллов, А. М. Сенкевич, Ю. М. Галкин, Н. В. Горохов, Ф. А. Горяинов, инж. Н. В. Полтев и др.).

Были также исследованы технические процессы отдельных видов электрической сварки металлов и решен ряд проблем в области сварочных машин и аппаратов (проф. Е. В. Нитусов, Ф. И. Кислюк и др.).

В ВЭИ разрабатывались также некоторые вопросы применения электрической энергии в быту и в сельском хозяйстве (проф. М. Г. Евреинов и др.).

Результаты работ ВЭИ во всех этих областях легли в основу разработки новых видов электрооборудования отечественного производства.

Двадцать шесть научных сотрудников ВЭИ удостоены почетного звания лауреата Сталинской премии, из которых семнадцать получили это звание за работы, выполненные в годы Великой Отечественной войны.

Задача института на ближайший период. На Всесоюзный электротехнический институт в настоящее время возложены большие задачи по оказанию помощи заводам электропромышленности в разработке новых технически более совершенных видов электротехнического оборудования и по разрешению ряда проблем, связанных с выполнением пятилетнего плана восстановления и развития народного хозяйства.

Для автоматизации промышленного производства, предусмотренной пятилетним планом, необходимо разработать и внедрить в массовое производство широкую номенклатуру электронных и газоразрядных приборов.

Разработка и промышленное освоение электронных микроскопов и мощных электронных и рентгеновских трубок, как средств анализа и научного прогресса в самых разнообразных научно-исследовательских и прикладных областях науки и техники, являются одной из важнейших задач института на ближайшие годы.

Техника преобразования тока за последние годы получила не меньшее развитие, чем другие виды электровакуумных приборов. Ртутный выпрямитель является необходимым аппаратом в производственных процессах черной и цветной металлургии, химической промышленности, в железнодорожном, городском и промышленном транспорте, в передаче больших мощностей на далекие расстояния и т. д. Разработка и внедрение в массовое производство различных типов ртутных выпрямителей от безнасосных — малой мощности — для целей электросварки — до мощных высоковольтных ртут-

ных выпрямителей, обеспечивающих широкую электрификацию железных дорог и создание высоковольтных линий на постоянном токе, также принадлежит к важнейшим задачам института на ближайшие годы.

Передача энергии постоянным током высокого напряжения является большой комплексной научной и производственной проблемой, в решении которой значительное место отводится разработке новых видов высоковольтной изоляции и высоковольтной аппаратуры.

Электротехнические изоляционные материалы определяют развитие конструктивных форм и обеспечение надежности эксплуатации всех видов электрических машин и аппаратов. Создание новых видов изоляционных материалов, допускающих высокотемпературные перепады и обеспечивающих работу электрического оборудования в самых тяжелых условиях эксплуатации, продолжает оставаться важнейшей задачей научного коллектива ВЭИ.

Широкое применение индивидуального автоматизированного электропривода и автоматизация контроля и управления производственными процессами требуют от ВЭИ разработки новых схем и конструкций электропривода, новых машин, элементов автоматических устройств, — все в большей и большей мере необходимых для быстрого развития автоматизации всех отраслей промышленности, коммунального хозяйства и быта в нашей стране.

Светотехника и светотехническое оборудование приобрели за последние годы большое значение для повышения производительности и безопасности труда, обеспечения безопасности уличного движения, решения архитектурных задач при сооружении зданий и памятников. В связи с этим институт большое внимание уделит разрешению научных проблем в области светотехники.

Успешное выполнение поставленных выше научно-исследовательских задач потребует, естественно, всестороннего развития в институте теоретических и физических работ в различных областях электротехники.

* * *

В настоящем кратком обзоре дана характеристика лишь основных научно-исследовательских направлений и отмечены достижения в работе Всесоюзного электротехнического института за 25 лет его существования.

Однако, в работе института были и имеются существенные недостатки.

Сравнивая результаты работы ВЭИ за последние 3—4 года со всей предыдущей деятельностью, следует отметить относительно меньшую продуктивность научно-исследовательских работ института в предвоенные годы.

Наибольшая и заслуженная критике подвергались работы ВЭИ в области электрических машин. Если теоретические и практические выводы из работы института в области промышленных исследований крупных электриче-

ских машин и различных видов электропривода внимательно изучались инженерно-техническими работниками электромашиностроительных заводов и проектно-конструкторских бюро и содействовали техническому развитию в данной области, то этого нельзя сказать о работах института в области электрических машин средней и малой мощности, выпускаемых в порядке массового производства. Лишь небольшое количество разработанных институтом типов электрических машин было внедрено в массовое производство на электромашиностроительных заводах. Это можно отчасти объяснить тем, что свои конструкции машин ВЭИ разрабатывал в отрыве от технологической базы заводов и без учета их возможностей.

Ряд работ института по электрическому приводу был принят в промышленное производство и, как уже указывалось выше, отмечен Сталинской премией. Однако, разработки института по автоматизированному электроприводу не стали основой широкой автоматизации производственных процессов в промышленности.

Научные разработки института в области коммутационной аппаратуры получили широкий размах и внедрены в массовое производство лишь в последние годы, после пуска в 1941 году лаборатории коммутационной аппаратуры.

Значительно сократила объем своей работы за последние годы трансформаторная лаборатория института, затрудняя тем самым дальнейший технический прогресс в этой важной для советской энергетики области.

Далеко не все из ныне существующих отделов и направлений ВЭИ в полной мере развернули и использовали свои технические возможности.

Существующая с 1931 года лаборатория ртутных выпрямителей ВЭИ за годы войны добилась успехов в разработке и промышленном освоении одноанодных ртутных выпрямителей. Однако, отсутствие отечественных типов отпаянных металлических выпрямителей, мощных выпрямителей на повышенное напряжение для электрифицированного транспорта и мощных высоковольтных выпрямителей для передачи энергии постоянным током, — говорит о совершенно недостаточных масштабах работы института в этой области и свидетельствует о значительной задолженности научного коллектива этой лаборатории перед нашей промышленностью.

Большим недостатком в работе ВЭИ было медленное внедрение научных разработок в массовое производство. Ярким примером этого являются исследования в области новых электроизоляционных материалов. Своими работами по изоляционным материалам ВЭИ завоевал приоритет для советской науки, создав целый ряд новых видов изоляции: взрывобезопасные и негорючие изоляционные масла — совол и совтол, лаки, компаунды и, наконец, новые виды самых разнообразных, в том числе и изоляционных, материалов, на основе высокополимерных кремнийорганических соединений.

Однако, благодаря медленному внедрению этих материалов в промышленное производство советская электропромышленность сильно отстала в применении новых высокоэффективных видов изоляции от зарубежных электротехнических фирм.

Разработанные еще задолго до войны новые типы светотехнической арматуры и высокоэкономичных источников света (ртутных, натриевых, люминесцентных и зеркальных ламп) также не нашли достаточного промышленного применения. Не проводя настойчивой и повседневной борьбы за продвижение в промышленность собственных разработок, институт не сумел добиться широкого освоения и массового производственного выпуска крайне полезных и нужных стране новых видов электротехнических изделий.

Отсутствие достаточной связи лабораторий института с заводами электропромышленности в довоенные годы налагало отпечаток некоторой замкнутости на работу ВЭИ.

Недостатки в системе организации научно-исследовательской работы внутри института в свою очередь ограничивали творческие возможности научных сотрудников.

Почти ни в одной из лабораторий института в довоенный период не было конструкторских групп или бюро и самостоятельных макетных мастерских. Эскизные наброски творческих идей претворялись в конструктивную форму и в опытные образцы в отрыве от лабораторий и вне органической связи с авторами и научными руководителями. Это часто приводило к браку в научной работе, к задержке в выпуске образцов и подчас к выпуску уже морально устаревших конструкций.

Большие недостатки имеют место в постановке информации о работах ВЭИ. Не налажена подробная информация заводов о выполненных институтом работах и достаточно широкая публикация научных работ в журналах; не развиты такие формы информации, как научно-технические конференции, научные семинары, коллоквиумы и пр.

Научно-технический совет института и его секции не стали еще действенными органами

контроля за правильностью постановки и качеством научных исследований.

За годы Великой Отечественной войны институтом приобретен новый и ценный опыт в организации и проведении научно-исследовательской работы и эффективного использования ее результатов в народном хозяйстве. Этот опыт внес значительные изменения в методы и постановку деятельности ВЭИ. Родственные лаборатории института объединились в крупные отделы, ведущие комплексные научные разработки на основе использования вновь созданных при каждом объединении конструкторских групп или бюро и собственных макетных мастерских.

На основе детальной разработки и быстрого изготовления образцов новой техники ВЭИ добился взаимного понимания и тесной связи с рядом заводов электропромышленности в смысле промышленного внедрения разработанных образцов новой техники в серийное производство.

Использование творческих возможностей научного коллектива ВЭИ станет наиболее эффективным с развитием сети научно-исследовательских организаций электропромышленности, что позволит ВЭИ сосредоточить все усилия на своей основной деятельности по комплексному решению больших инженерных проблем.

ВЭИ вырос и развивался в тесной связи с развитием электропромышленности и всего народного хозяйства СССР как комплексный научно-исследовательский электротехнический институт. Как комплексный проблемный исследовательский институт ВЭИ должен развиваться и в дальнейшем.

Выросший за годы существования ВЭИ большой коллектив научных работников и накопленный ими опыт по разработке сложных научно-технических вопросов обязывают Всесоюзный электротехнический институт, в ответ на обращение И. В. Сталина к советским ученым в его исторической речи на предвыборном собрании избирателей Сталинского избирательного округа города Москвы 9 февраля 1946 г., с честью разрешить научно-исследовательские задачи, связанные с развитием электропромышленности в новой пятилетке.



Импульсный разряд в инертных газах

Доктор физико-матем. наук, проф. К. С. ВУЛЬФСОН

Всесоюзный электротехнический институт

Многочисленные исследования электрического разряда в газах при небольшой и средней плотности тока, выполненные различными методами в ряде лабораторий ВЭИ, установили основные электрические и оптические характеристики различных форм разряда. Во многих случаях удалось настолько глубоко проникнуть в механизм элементарных процессов, что появилась возможность предварительного расчета излучения разряда.

Сравнительно невысокая, не превосходящая нескольких процентов, степень ионизации, присутствующая всем этим формам разряда, является следствием относительно небольшой плотности тока, которая только в ртутных лампах сверхвысокого давления достигает 100 A/cm^2 .

Однако, разряды с небольшой плотностью тока и небольшой степенью ионизации далеко не исчерпывают собой все практически важные и интересные с теоретической стороны виды разрядов. Большая группа разрядов, обычно называемая искровыми или импульсными, может быть характеризована очень большой плотностью тока (от тысяч до десятков тысяч A/cm^2) и, как следствие, высокой объемной плотностью энергии. Другая отличительная черта этих разрядов — их резко нестационарный характер. Только при небольшой длительности разряда, не превосходящей сотни μsec , удается инвестировать в разрядный промежуток значительные количества энергии.

Укажем на основные области техники, где такой разряд находит применение. В первую очередь надо указать на стробоскопию [Л. 1], фотографирование быстро движущихся предметов [Л. 2], аэрофотосъемку [Л. 5], оптическую сигнализацию и спектральный анализ [Л. 4]. В этих случаях используются оптические особенности импульсного разряда. Не менее важно применение этого вида разряда в специальных радиотехнических устройствах (триггероны) и в новой об-

Изложены результаты исследования электрических характеристик импульсного разряда в лампах, наполненных неоном, аргоном, криптоном и ксеноном. Определено сопротивление плазмы мощного импульсного разряда. Установлено, что интенсивность излучения плазмы импульсного разряда почти точно пропорциональна подведенной к разряду энергии. Интенсивность излучения импульсных ламп, наполненных инертными газами, значительно превосходит излучение импульсного разряда в воздухе. Импульсный разряд сопровождается образованием ударной волны, которая вызывает значительное повышение давления, сопровождающееся повторной вспышкой свечения. Излучение импульсного разряда распадается на две фазы, во время которых соответственно излучается искровой и дуговой спектр. Указаны некоторые примеры практического применения импульсного разряда: стробоскопия, фотографирование быстро движущихся предметов, спектральный анализ и др.

ласти техники — электроэрозионном методе обработки металлов [Л. 5]. Не следует, наконец, забывать, что мощнейший существующий в природе электрический разряд — молния — принадлежит также к искровому виду разряда.

Перечисленные весьма разнообразные области приложения импульсного разряда выдвигают перед теорией ряд вопросов, которые, несмотря на то, что этот вид разряда известен очень давно, остаются до сих пор не изученными. Отчасти это объясняется тем, что большая часть работ посвящена выяснению механизма возникновения разряда — пробой. Совершенно незаслуженно в тени оставалась главная стадия разряда, которая представляет наибольший интерес не только с точки зрения практических приложений, но и со стороны изучения элементарных процессов в сильно ионизованной плазме. Только в этой стадии сила тока достигает максимума и в разряде выделяется наибольшее количество энергии. Высокая концентрация энергии в разрядном промежутке приводит к возникновению процессов, которые в стационарном разряде возникнуть не могут. Температура достигает десятков тысяч градусов, а степень ионизации может доходить до 100%. Изучение такого высокоионизованного газа или пара представляет, безусловно, значительный интерес не только для физики и техники, но и для астрофизики, так как подобные состояния вещества имеют место в звездных образованиях.

Возникновение высокой температуры и ионизации неизбежно сопровождается интенсивными оптическими явлениями. Исключительно большая сила света и яркость, на мгновение превосходящие во много раз яркость солнца, позволяют использовать импульсный разряд в качестве специального источника света. Естественно, что нахождение условий, обеспечивающих получение еще больших яркостей, имеет первостепенное значение и позволит еще больше рас-

ширить область применения импульсных источников света.

Изучение явлений, связанных с разрушением электродов во время прохождения главного разряда, также очень существенно. До последнего времени явление это изучалось только со своей отрицательной стороны. Теперь же для работы электроэрозионных устройств важно найти условия, способствующие его усилению. То же самое имеет место и в спектральном анализе, когда желательнее подвергнуть изучению большие количества вещества для устранения влияния возможных локальных неоднородностей в исследуемом образце. Кроме того, применение импульсных схем повышает точность спектрального анализа [Л. 4].

Понятно, что установление условий, при которых особенно сильно проявляются те или иные особенности импульсного разряда, имеет первостепенное значение. Чтобы добиться успеха в этом направлении, необходимо выяснить механизм импульсного разряда и определить основные параметры, влияющие на его электрические и оптические характеристики.

Наиболее глубокое проникновение в механизм импульсного разряда возможно путем параллельного применения электрических и оптических методов исследования. Объектом нашего исследования являлись в основном инертные газы, поскольку они позволяли исключить влияние ряда вторичных явлений, усложняющих и запутывающих и без того сложную картину импульсного разряда.

Электрические характеристики импульсного разряда. Основными величинами, характеризующими импульсный разряд с электрической точки зрения, являются мгновенная сила тока и падение напряжения на лампе. Определение этих величин возможно только с помощью катодного осциллоскопа специальной конструкции. Наряду с этими величинами большой интерес представляет определение подведенной к разрядному промежутку мощности и его сопротивления.

Впервые предположение о постоянстве сопротивления импульсного разряда высказал Larort [Л. 6]. Однако, его метод представляется недостаточно строгим; кроме того, остается открытым вопрос, сохраняется ли пропорциональность между напряжением и током за все время разряда и каково влияние геометрических размеров разрядного канала и рода и давления газа, его наполняющего, на величину удельного сопротивления.

В ВЭИ, начиная с 1939 г., были разработаны три метода измерения сопротивления импульсных ламп [Л. 7]. Первый метод заключался в измерении эффективной силы тока тепловым амперметром. По второму методу сопротивление определялось по наклону вольтамперной характеристики. Наконец, третий метод состоял в определении декремента затухания колебаний тока в контуре, содержащем импульсную лампу. Получение мощных импульсов тока, необходимых для измерений, осуществлялось всегда путем периодически повторяющихся разрядов кон-

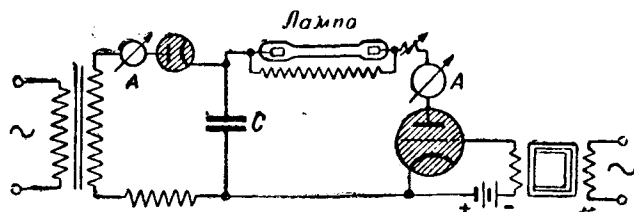


Рис. 1.

денсатора, заряженного до высокого напряжения. Основными элементами этих схем являются: высоковольтное выпрямительное устройство, рабочий конденсатор, управляющее устройство и импульсная лампа. Применение схем, позволяющих периодически с небольшой частотой воспроизводить импульсные процессы, по своей природе неперiodические, значительно облегчает экспериментирование и создает возможность применения ряда методов и приборов, обычно применяемых только для изучения стационарных или периодических явлений.

Сопротивление лампы R_a по первому методу (схема рис. 1) вычислялось по формуле:

$$I^2(R_a + R_n) = \frac{CU^2}{2}n, \quad (1)$$

где C — емкость рабочего конденсатора; U — напряжение на конденсаторе; n — число разрядов в секунду. Эффективная величина тока I , идущего через лампу, измерялась тепловым амперметром специального типа, показания которого не зависят от частоты. Эквивалентное сопротивление потерь R_n для остальных элементов схемы определялось при закороченной лампе.

Снятие вольтамперной характеристики производилось следующим образом. Падение напряжения на лампе подавалось через понижающий высокоомный потенциометр на одну пару отключающих пластин. На другую пару пластин подавалось напряжение со специального эталонного безиндукционного сопротивления, включенного последовательно с лампой. В 1941 г. была описана аналогичная установка для измерения вольтамперных характеристик, аргоновых импульсных ламп в статье Edgerton и Murphy [Л. 8]. Их результаты, почти совпадающие с нашими, будут рассмотрены ниже.

Третий метод (схема рис. 2) применялся, главным образом, при исследовании ламп большого давления, от 0,1 до нескольких ат. Небольшое сопротивление, которым обладают эти лампы, потребовало исключения из разрядного контура тиратрона, так как его сопротивление во много раз больше сопротивления лампы. Осциллографирование колебаний тока, текущего через лампу, осуществлялось при помощи катодного осциллоскопа, собранного по схеме, несколько видоизмененной по сравнению со схемой Rohats [Л. 9]. Измерение компаратором амплитуд тока на осциллограмме (рис. 3) позволяет подсчитать сопротивление контура R по формуле:

$$R = \frac{4L}{T} \ln \frac{I_n}{I_{n+1}}, \quad (2)$$

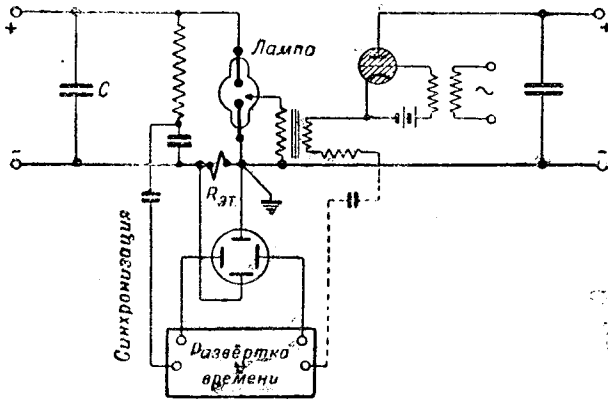


Рис. 2.

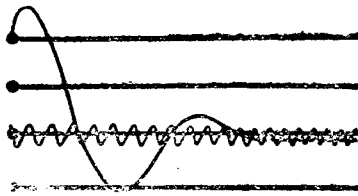


Рис. 3.

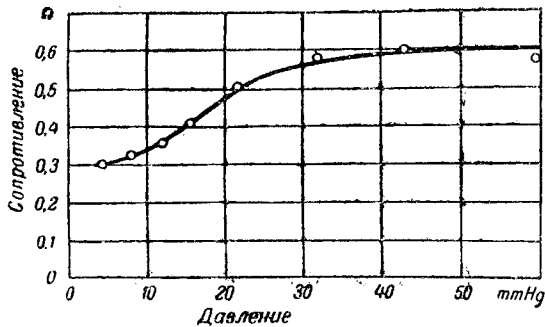


Рис. 4.

где I_n и I_{n+1} — две последовательные амплитуды тока; L — индуктивность разрядного контура; T — период колебания, который определялся сравнением с эталонными колебаниями с частотой 1 МГц. Помимо определения сопротивления лампы осциллограммы позволяют также вычислить индуктивность контура. При этих измерениях существенно устранить всякого рода активные потери в контуре и, в особенности, в рабочем конденсаторе, ибо пренебрежение ими может привести к совершенно ошибочным результатам.

Измерения сопротивлений ламп, наполненных инертными газами — неона, аргоном и криптоном при различных давлениях, показало, что сопротивление ламп почти не зависит ни от напряжения, ни от рода газа, ни от его давления, если только в лампе выделяется достаточно большая энергия. В противном случае сопротивление ламп резко возрастает.

Например, для криптоновой лампы диаметром 10 мм и длиной 500 мм, при давлении в 8 мм рт. ст. при различных напряжениях в пределах от 1440 до 6430 В получались значения

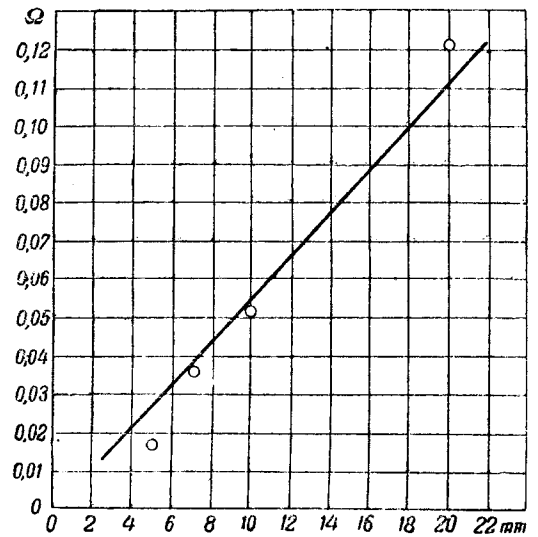


Рис. 5.

сопротивления, колебавшиеся между 1,70 и 2,45 Ω (среднее — 2,08), в то время как из вольтамперной характеристики получено сопротивление 1,92 Ω.

Результаты измерений сопротивлений ламп, наполненных криптоном, при различных давлениях показаны на рис. 4. При измерениях давления от 5 до 60 мм рт. ст. сопротивление меняется менее чем в два раза.

Замена в одной и той же лампе криптона на аргон или неон не вызывала изменения сопротивления, если энергия разряда была достаточно велика.

Работая по третьему методу, О. П. Воронова измеряла сопротивление шаровых ламп, наполненных аргоном, криптоном и смесью аргона с парами ртути. На рис. 5 показана найденная О. П. Вороновой зависимость сопротивления этих ламп в Ω от междуэлектродного расстояния в мм.

В таблице ниже представлены результаты опытов, проведенных С. Ф. Богдановым и К. С. Вульфсоном, с импульсными криптоновыми лампами, имеющими резко различные геометрические размеры.

| № лампы | Диаметр лампы, мм | Длина лампы, мм | Давление, мм рт. ст. | Сопротивление, Ω | Удельное сопротивление плазмы, Ω см |
|---------|-------------------|-----------------|----------------------|------------------|-------------------------------------|
| 1 | 1,6 | 50 | 10 | 7,6 | $2,7 \cdot 10^{-2}$ |
| 2 | 6,0 | 50 | 10 | 0,5 | $2,8 \cdot 10^{-2}$ |
| 3 | 10,0 | 500 | 5 | 1,9 | $3,1 \cdot 10^{-2}$ |

Приведенные в последнем столбце значения удельного сопротивления указывают, что плазме импульсного разряда большой мощности можно приписать определенное удельное сопротивление. Это подтверждается также упомянутыми выше опытами О. П. Вороновой над шаровыми лампами, имеющими расстояние между

электродами порядка 1—10 мм и давление в несколько ат. Из ее опытов получается удельное сопротивление ρ порядка $2,9 \cdot 10^{-2} \text{ } \Omega \cdot \text{см}$.

Обработка вышеупомянутых результатов измерений Edgerton и Murphy приводит к значению $\rho = 1,7 \cdot 10^{-2}$, а измерений Laport — $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ } \Omega \cdot \text{см}$.

Сопоставление всех имеющихся в настоящее время измерений позволяет приписать плазме импульсного разряда удельное сопротивление порядка $1,5 \div 3,0 \cdot 10^{-2} \text{ } \Omega \cdot \text{см}$.

Наряду с измерениями сопротивления импульсного разряда, производились измерения максимальных значений силы и плотности тока, а также и выделяющейся в разряде мощности. Наибольшее амплитудное значение тока было получено в опытах с лампами большого давления; оно достигало 14 000 А, что соответствует плотности тока порядка не менее $150\,000 \text{ А/см}^2$. Наибольшая плотность энергии в этих лампах достигает 250 Вт/см^2 . Такая большая концентрация энергии сопровождается, естественно, интенсивными оптическими явлениями, являющимися объектом многочисленных исследований.

Оптические явления при импульсном разряде.

Различные оптические исследования импульсного разряда, проводившиеся в течение ряда лет в оптической лаборатории ВЭИ, хотя они тесно между собой переплетаются, могут быть разбиты на две группы: опыты со спектрально неразложенным светом и опыты, в которых применялось спектральное разложение света. К первой группе опытов относятся измерения интегральных и мгновенных значений интенсивности световых явлений в зависимости от параметров питающей схемы и от свойств самой лампы, давления в ней и рода наполняющего ее газа. Учитывая разнообразный характер практических применений импульсных источников света, измерения выполнялись различными методами. В качестве приемников лучистой энергии использовались: термоэлемент, фотолампочка, простой и многокаскадный фотоэлементы. Большое количество измерений, в особенности с лампами низкого давления, было произведено визуальным методом с помощью люксметра Бехштейна и мигающего фотометра ВЭИ. К этой же группе исследований надо отнести изучение распространения, отражения и концентрации ударных волн, возникающих в импульсных лампах.

Ко второй группе опытов относятся: исследование зависимости характера спектров импульсных ламп от электрического режима разряда и изучение спектральных разверток, т. е. изучение изменения спектрального состава излучения во времени. Сравнение полученных последним методом результатов с данными электрических измерений представляет большой интерес в смысле выяснения механизма главной стадии разряда.

Измерения, выполненные С. Я. Богдановым, а затем продолженные Ф. А. Чарной, показали, что средняя за вспышку сила света различных импульсных ламп почти пропорцио-

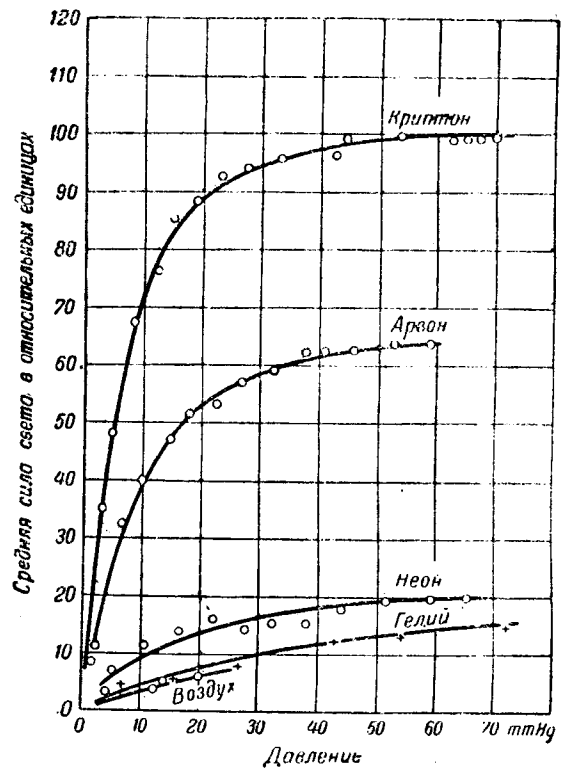


Рис. 6.

нальна энергии, выделяющейся в разрядном промежутке. Изменение остальных параметров схемы сказывается на силе света только, поскольку это меняет энергию разряда. Интересно отметить, что амплитудное значение силы света, измеренное многокаскадным фотоэлементом конструкции проф. П. В. Тимофеева, показывает несколько более слабую зависимость от энергии разряда (пропорционально $W^{0,9}$). Еще более медленно (пропорционально $W^{0,7}$) растет амплитудное значение яркости. Это объясняется, по видимому, тем, что с увеличением мощности увеличивается диаметр разрядного канала.

Большое практическое значение имеет впервые выполненное в ВЭИ сравнительное определение силы света импульсных ламп, наполненных различными газами под разным давлением. Измерения были проведены с трубчатыми лампами низкого давления (С. Я. Богданов) и с шаровыми лампами высокого давления (Ф. А. Чарная). Результаты первых опытов, проведенных с лампами, наполненными гелием, неондом, аргоном и криптоном, представлены на рис. 6. Обращает на себя внимание резкое увеличение средней силы света при переходе от гелия к неону, аргону и криптому. В этом отношении аналогичные результаты были получены и с лампами высокого давления; они представлены на рис. 7. Для сравнения приведены также данные ламп, наполненных воздухом. Их сила света значительно меньше.

Между лампами низкого и высокого давления имеется существенное различие. В то время как в трубчатых лампах низкого давления, имеющих небольшой диаметр (6 мм),

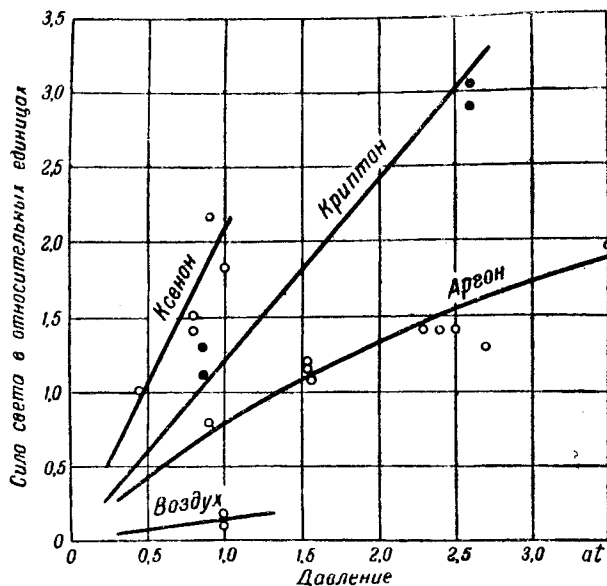


Рис. 7.

наблюдается резко выраженное насыщение интенсивности света при повышении давления в шаровых лампах высокого давления (диаметр 40—60 мм) сила света растет почти пропорционально давлению. Можно предположить, что причина насыщения заключается в следующем: по мере увеличения давления (при данной энергии разряда) растет, как это будет показано ниже, удельный вес излучения дугового спектра. Длительность его излучения, согласно наблюдениям со спектральными развертками, растягивается до многих десятков μ сек. За это время происходит заметное рассеяние энергии на стенках трубки, не сопровождающееся испусканием света.

Сопоставление всех описанных выше измерений позволяет дать впервые сравнительную светотехническую оценку импульсных ламп, наполненных различными газами. Принимая излучение аргоновых ламп за единицу, мы можем выразить излучательную способность других газов в импульсном режиме с помощью коэффициентов, приведенных в ниже следующей сводке:

| | Лампы низкого давления | Лампы высокого давления |
|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Гелий | 0,10—0,20 | — |
| Неон | 0,24—0,31 | — |
| Воздух | 0,08—0,12 | 0,17 |
| Аргон | 1,0 | 1,0 |
| Криптон | 1,57—2,00 | 1,67—1,87 |
| Ксенон | — | 2,7 |

Очень часто предлагается в качестве импульсного источника света применять излучение вольфрамового пара, образующегося при испарении проволоки, через которую пропускается мощный разряд конденсатора. Нами было произведено сравнение этого рода импульсного источника света с импульсными лампами, наполненными инертными газами, и определено давление газа, при котором излучение лампы сравнивается с излучением испаряющейся проволоки. Измерения производились фотографическим ме-

тодом. Сила света криптоновых ламп получалась равной силе света проволоки при давлении 3,5—4,5 ат. Для ксенона равенство получалось при 2,5—3,5 ат.

Приведем некоторые данные, характеризующие энергетический и светотехнический выход импульсного разряда. Измерения, выполненные с радиационным термоэлементом, показали, что количество энергии, излучаемое лампой, составляет порядка 10—20% от подведенной к ней электрической энергии. Наибольшее амплитудное значение, которое было достигнуто в этих опытах (хотя оно вовсе не является предельным), равнялось приблизительно 10^6 свечей, этому соответствует амплитудное значение яркости $5 \cdot 10^6$ sb. Подведенная в этих опытах к лампе мощность равнялась 7 J на вспышку. Отсюда по известной из осциллограмм и разверток длительности свечения, равной приблизительно 20 μ сек., находим световой выход для криптоновой лампы высокого давления ($p=3,5$ ат), равный 20 lm/W. Увеличение давления газа и переход к ксенону позволят значительно повысить силу света, яркость и световую отдачу.

Некоторые особенности динамики импульсного разряда. В последнее время И. Ш. Либиным были поставлены опыты по изучению динамики расширения канала импульсного разряда в аргоновых и ксеноновых лампах большого давления. Метод исследования заключался в фотографировании света, проходящего через узкую щель, расположенную перпендикулярно оси канала разряда. С помощью вращающегося зеркала и объектива изображение щели отображалось на фотопластинку в виде растянутой полоски переменной ширины.

Исследование такого рода разверток позволило установить ряд любопытных особенностей. В первые мгновения после пробоя диаметр канала расширяется с колоссальной скоростью, значительно превосходящей скорость звука в данном газе. Примерно через $1/2$ —1 период тока скорость падает и через 2—3 периода диаметр канала делается почти постоянным, расширяясь очень медленно.

Образующееся внутри канала в начальные стадии разряда очень большое давление порождает возникновение сферической ударной волны, средняя скорость которой превосходит скорость звука. Эта волна, достигнув стенок баллона лампы, отражается и вновь концентрируется в центре, создавая настолько большое давление, что газ, будучи адиабатически сжат, сильно нагревается и вновь начинает светиться. В некоторых опытах удалось наблюдать многократное отражение волн от стенок баллона.

На основании этих опытов были подсчитаны средние скорости распространения ударных волн в лампах. Сопоставление их с известными данными для скорости звука:

| | Скорость волны | Скорость звука |
|--------|----------------|----------------|
| Аргон | 660 м/сек | 320 м/сек |
| Ксенон | 400 " | 187 " |

Спектры импульсных ламп. Исследование спектров импульсных ламп, снятых при различных электрических режимах, показало, что по мере увеличения энергии разряда в спектре появляются в большем числе линии, интенсивность которых резко возрастает с энергией разряда, в то время как интенсивность остальных линий почти не меняется. При дальнейшем увеличении энергии разряда, в особенности в лампах с большим давлением газа, начинает резко усиливаться непрерывный фон. Расшифровка спектров выяснила, что линии, интенсивность которых почти не зависит от энергии разряда, принадлежат к дуговому спектру. Линии, показавшие резкое возрастание интенсивности с увеличением энергии, принадлежат к искровому спектру. Изменение характера спектра, т. е. появление преобладающего числа искровых линий, происходит в различных лампах не при одинаковых значениях энергии. Чем больше давление газа в объеме разрядного канала, тем большее количество энергии необходимо подвести, чтобы спектр принял искровой характер. Это явление можно использовать практически для определения давления газа в отпаянном сосуде, сравнивая интенсивность дуговых и искровых линий.

Обогащение спектра искровыми линиями, естественно, наводит на мысль, что оно вызвано увеличением числа ионизированных атомов, что, в свою очередь, вызвано увеличением выделяющейся в разряде энергии. Представляет поэтому большой интерес изучить изменение спектра разряда в течение самого импульса. Для этой цели была разработана установка, позволяющая получать спектральные развертки. Схематически она изображена на рис. 8. Примеры получающихся разверток изображены на рис. 9. На спектре хорошо видно различие в поведении искровых и дуговых линий. Эмиссия первых имеет место в начальной стадии разряда, пока энергия, подведенная к разряду, не успела еще рассеяться (степень ионизации максимальна). Интенсивность дуговых линий достигает максимума значительно позднее, когда излучение искровых линий почти прекратилось. Сравнительное поведение линий хорошо иллюстрируется микрофотограммой (рис. 10). Чем больше подводимая к разряду энергия, тем больше достигаемая степень ионизации и тем относительно интенсивнее искровые линии. Это хорошо видно на рис. 9, на котором изображены четыре развертки, снятые при все увеличивающейся энергии разряда.

Укажем на важное практическое следствие, вытекающее из установленного факта последовательного по времени излучения искровых и дуговых линий. Желая получить очень кратковременные вспышки, надо выбирать такие газы, у которых искровые линии лежат в видимой части спектра, и подбирать такие условия разряда, при которых искровой спектр преобладает над дуговым. Особенно благоприятно эти условия складываются у аргона, криптона и ксенона. Поэтому они все чаще применяются в импульсных лампах вместо неона или гелия, у которых искровые линии лежат в невидимой части спектра.

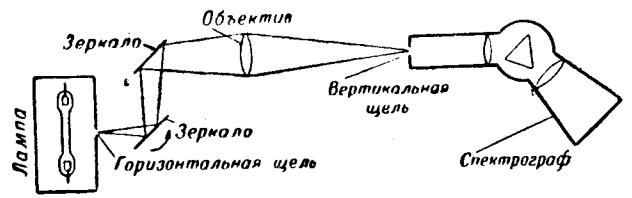


Рис. 8.

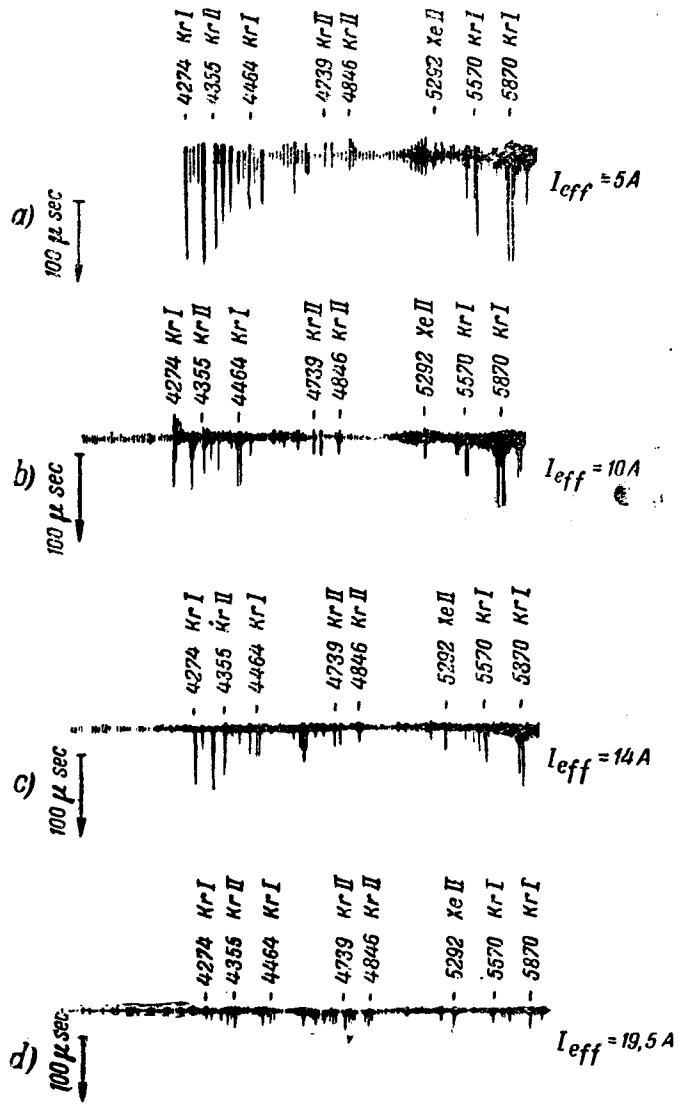


Рис. 9.

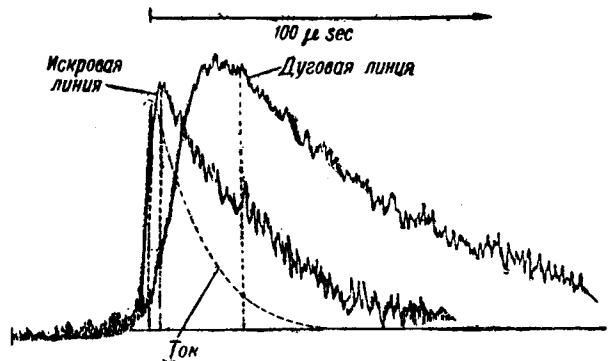


Рис. 10.

Длительность излучения последних значительно больше, чем у первых, и поэтому при наблюдении быстро движущихся предметов эти газы дают размазанные изображения.

Количественная оценка ионизации и температуры газа. Изложенные выше результаты измерений удельного сопротивления плазмы в режиме импульсного разряда большой мощности могут быть использованы для количественной оценки степени ионизации и температуры газа.

Плотность тока в разряде i может быть выражена соотношением:

$$i = NebE, \quad (3)$$

где N — концентрация электронов; e — заряд электрона; b — его подвижность; E — градиент электрического поля.

Отсюда получаем выражение для удельного сопротивления:

$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{1}{Neb}. \quad (4)$$

Согласно этой формуле удельное сопротивление зависит только от концентрации и подвижности электронов. Пока мы имеем дело с мало мощными разрядами, ионизован очень небольшой процент атомов, и поэтому величина подвижности мало зависит от мощности разряда. В этом случае движение электронов в основном определяется столкновениями с нейтральными атомами, и сопротивление обратно пропорционально концентрации электронов, которая увеличивается с мощностью. Поэтому по мере перехода от мало мощных разрядов к разрядам средней мощности удельное сопротивление резко уменьшается, как это особенно наглядно видно из упоминавшихся опытов Murphу и Edgerton. С переходом к разрядам большой мощности степень ионизации будет увеличиваться и когда она достигнет нескольких десятков процентов, на движении электронов начнут сказываться столкновения с положительными ионами, поперечное сечение которых значительно больше, чем нейтральных атомов. Поэтому, увеличение числа положительных ионов будет укорачивать среднюю длину свободного пробега электронов и, следовательно, уменьшать их подвижность, компенсируя тем самым увеличение их числа. В результате сопротивление принимает стационарное значение. С этой точки зрения ясно, что ни давление, ни род газа не должны существенно влиять на величину удельного сопротивления, так как оно определяется свойствами положительных ионов, поперечное сечение которых не зависит от рода атома. Изменение этих условий может влиять только на количество энергии, необходимой для достижения нужной степени ионизации, что как раз и подтверждается опытом.

Разработанная Гвоздовером [Л. 10] теория позволяет вычислить поперечное сечение положительного иона. Исходя из его формул, Мёллер [Л. 11] подсчитал для разряда с высокой сте-

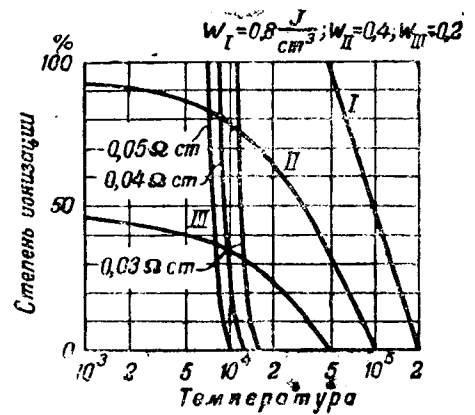


Рис. 11.

пенью ионизации величину удельного сопротивления:

$$\rho = \frac{1,48 \cdot 10^4}{T_{эл}^{3/2}} \lg 0,72 \cdot 10^6 \frac{T_{эл}^2}{N_i^{1/2}}, \quad (5)$$

$T_{эл}$ — абсолютная температура электронов; N_i — концентрация положительных ионов). По этой формуле построены графики (рис. 11), вычисленные для криптоновой лампы (длина 500 мм, диаметр 10 мм, давление 5 мм рт. ст.). Эти графики связывают температуру и степень ионизации с удельным сопротивлением. Почти вертикальный ход кривых подтверждает изложенные выше соображения о том, что при данной температуре удельное сопротивление мало зависит от степени ионизации, если только она превосходит несколько процентов.

Измерение энергии, выделяющейся в импульсном разряде, приводит также к выводу о высокой степени ионизации газа. Чтобы показать это, составим баланс энергии для единицы объема разрядного пространства. Ввиду малой длительности разряда (10^{-6} — 10^{-5} sec), потерями энергии через теплопроводность и конвекцию за это время можно пренебречь. Следовательно, энергия W , равная разности энергии, подведенной к разрядному столбу $W_{подв}$, и энергии, ушедшей из него в виде энергии излучения $W_{изл}$, должна пойти на два процесса: нагревание и ионизацию газа. Энергию, затраченную на возбуждение атомов, ввиду малой продолжительности жизни возбужденных атомов (10^{-8} — 10^{-7} sec) мы будем считать целиком ушедшей из разряда в виде излучения $W_{изл}$. Исходя из этих очень упрощенных предположений, можно написать уравнение баланса энергии в следующем виде:

$$W = W_{подв} - W_{изл} = N_0 [\frac{3}{2} k T_{ат} + \frac{3}{2} k T_{эл} x + Ax], \quad (6)$$

где N_0 — число атомов в 1 см^3 при данном давлении; k — постоянная Boltzmann'a; x — степень ионизации; A — работа ионизации; W — энергия, отнесенная к 1 см^3 ; $T_{ат}$ — абсолютная температура атомов. $T_{эл}$ — абсолютная температура электронов. Первый член правой части этого уравнения выражает энергию, затраченную на нагревание атомов и ионов, второй член — энергию нагревания электронов и третий — энергию ионизации.

Упомянутые выше измерения с термоэлемен-

том показали, что $W_{изл}$ составляет всего 10—20% от энергии, выделенной в разряде.

На основе уравнения (6) была для заданных значений $W_{подв} - W_{изл}$, соответствующих реальным условиям эксперимента, подсчитана связь между температурой и степенью ионизации. Кривые I, II и III на рис. 11 построены для трех значений $W_{подв} - W_{изл}$ (I—0,8; II—0,4 и III—0,2 Дж/см³). Эти кривые показывают степень ионизации, которая установится, если та или иная часть энергии будет затрачена на нагревание.

Из рисунка видно, что при достаточной энергии может получиться полная ионизация, сопровождающаяся сильным нагреванием. Точка пересечения кривой мощности с соответствующей кривой сопротивления определяет значение температуры и степени ионизации для момента времени, когда данная энергия оказывается выделенной в разряде. Таким образом, можно представить себе следующий механизм протекания импульсного разряда во времени. Вначале, после пробоя, когда выделенная энергия в разряде только началась, ионизованной оказывается еще только небольшая часть атомов. Однако, поскольку градиент потенциала велик, скорость электронов достигает почти сразу больших значений. По мере накопления в разрядном промежутке энергии, что на рис. 11 означает переход с одной кривой энергии на другую кривую, соответствующую новому значению энергии, увеличивается число ионизованных атомов. Температура электронов при этом меняется не сильно (ρ постоянно) и, возможно, даже несколько уменьшается, вследствие укорочения средней длины свободного пробега, вызванного повышением числа положительных ионов. В то же время, благодаря столкновению с электронами, температура атомов и ионов повышается. Таким образом, к концу разряда различие между $T_{ат}$ и $T_{эл}$ до известной степени выравнивается. Применение подобных графиков позволяет по известному удельному сопротивлению и подведенной к разряду мощности определить основные параметры плазмы — температуру и степень ионизации. При достаточной энергии степень ионизации, как это видно из графиков, может достигать 100%, а температура нескольких десятков тысяч градусов.

Изложенная здесь картина импульсного разряда основывалась только на электрических измерениях. Убедительное подтверждение она находит в описанных выше исследованиях спектральных разверток. Отсутствие в спектре дуговых линий в начальный момент времени, когда испускаются искровые линии, служит надежным доказательством высокой степени ионизации.

Приведенные здесь количественные соображения о механизме импульсного разряда являются лишь черновым наброском теории. Для построения более полной теории необходимо накопление экспериментального материала, касающегося свойств высокоионизованной плазмы и позволяющего выделить из всего многообразия элементарных процессов те из них, которые играют в данном явлении главную роль.

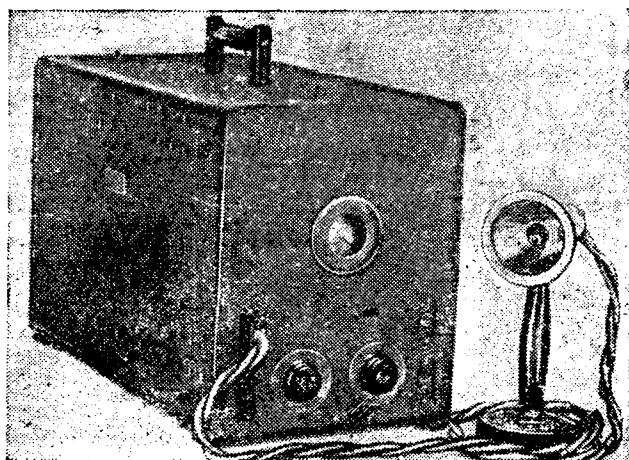


Рис. 12.

Примеры практического применения импульсных ламп. Разработанные в ВЭИ лампы нашли себе практическое применение преимущественно для целей стробоскопии, фотографирования быстродвижущихся объектов и оптической сигнализации.

На рис. 1 изображен пример схемы включения импульсной лампы низкого давления; здесь управление частотой и фазой зажигания осуществляется мощным тириатроном, включенным последовательно с лампой. Осуществленный по этой схеме стробоскоп изображен на рис. 12. Создаваемые этим устройством световые импульсы обладают настолько малой длительностью, что миллиметровые деления, нанесенные на диск диаметром 15 см, вращающийся со скоростью 1500 об/мин, видны совершенно резко, а диск представляется неподвижным.

Лампы высокого давления, обладающие очень небольшим светящимся телом и очень большой мгновенной яркостью, особенно пригодны для использования в оптических сигнализационных системах, создающих сравнительно узкие световые пучки. Управление моментом зажигания этих ламп осуществляется с помощью третьего электрода (рис. 2), на который подается импульс высокого напряжения с очень крутым фронтом. Это зажигающее напряжение создается особой маломощной импульсной схемой, обеспечивающей зажигание лампы с точностью до долей микросекунды. Такая точность вполне достаточна для всех практических применений импульсных ламп.

Литература

1. Drewell. ETZ, 447, 1367, 1939.
2. S. L. Bellingér. GER, T, 47, 3, 31, 1944;
3. GER, 49, № 1, 1946.
4. M. F. Haslet, H. W. Dietert. JOSA, 33, 4, 218, 1943.
5. Б. Р. Лазаренко и Н. И. Лазаренко. Электрическая эрозия металлов. Госэнергоиздат, 1944.
6. M. Laport. Journ. de Phys. et Rad., VIII, 332, 1937.
7. К. С. Вульфсон. Известия Академии наук СССР; вып. 9, № 3 стр. 233, 1945.
8. Murphy, H. E. Edgerton. Journ. Appl. Phys., 12, 848, 1941.
9. C. M. Foust, N. Rohats. El. Eng., 59, 5, 257, 1940.
10. Gwosdover. Phys. Zeit. Sov. Un. 12, 164, 1937.
11. F. L. Möhler. Res. Pap. Nat. Bureau Stand., № 1162, 1938.



Новые тиратроны и газотроны

Инж. Б. П. ИЛЯСОВ

Всесоюзный электротехнический институт

Низковольтный тиратрон ТГВЭИ-1-24 представляет собой газонаполненный триод открытой конструкции (рис. 1). Катод—оксидный на никелевом керне косвенного накала с малым временем разогрева. Анод и сетка — из карбонированного никеля. Тиратрон наполнен криптоксеноновой смесью, что позволяет эксплуатировать его в диапазоне температур — $30 \div 50^\circ \text{C}$. Незащищенная, открытая конструкция выбрана для решения основной задачи — получения пусковой характеристики на возможно более малых анодных напряжениях, для снижения потенциала зажигания тиратрона. Из рис. 2, где дана пусковая характеристика тиратрона, видно, что потенциал зажигания тиратрона снижен до 8 V , что практически позволяет применять этот тиратрон при анодном

За последние годы возникла большая потребность в новых газоразрядных приборах, ранее не выпускавшихся промышленностью. Лаборатория газоразрядных приборов ВЭИ разработала и наладила мелкосерийный выпуск восьми типов тиратронов и газотронов, охватывающих диапазон напряжений от 24 до $10\,000 \text{ V}$ и токов от 30 mA до 40 A . В статье дано описание этих ламп, отмечены элементы новизны в конструкции и параметрах и указываются области применения ламп. Все описанные ниже приборы успешно прошли эксплуатационные испытания.

напряжении, равном всего лишь $12\text{--}14 \text{ V}$. Его рабочие характеристики укладываются в мертвой для обычного тиратрона области — до $20\text{--}24 \text{ V}$ по оси анодного напряжения.

Другим ценным свойством тиратрона, позволяющим применять его в цепях с повышенной частотой, является малое время деионизации, приблизительно равное $30 \div 40 \mu\text{sec}$. Это достигнуто за счет малых расстояний сетки от катода и анода и благодаря развитой поверхности сетки и особому расположению анодов тиратрона¹. Тиратрон успешно работает в релаксационных генераторах с периодом колебаний $1 \cdot 10^{-5} \text{ sec}$. и выше.

Обладая малыми сеточными токами, тиратрон ТГВЭИ-1-24, как и большинство тиратронов ВЭИ, не имеет так называемой «пусковой области». Величина сеточных токов лежит в пределах $10^{-7}\text{--}10^{-8} \text{ A}$. Следовательно, тиратрон может быть использован в весьма чувствительных схемах. Мощность управления тиратроном не превышает $1 \cdot 10^{-4} \text{ W}$.

Основным же назначением тиратрона ТГВЭИ-1-24 остаются схемы с малым напряжением питания. Например, в случае применения тиратрона для аэрофотосъемок тиратрон автоматически устанавливает экспозицию съемки и приводится в действие непосредственно от фотоэлемента при вспышке фотобомбы, что дает возможность избавиться от лампового усилителя и умформера высокого напряжения.

Возможность применять анодные напряжения ниже 24 V решила задачу питания катода, сетки и анода от одного источника напряжения, равного 24 V . Потенциал на сетку в этом случае подается от части анодного напряжения (8 V), катоды соединяются последовательно.

ТГВЭИ-003-1000 (рис. 3) — высокочастотный тиратрон миниатюрных размеров — высота его не превышает 36 mm , диаметр равен 14 mm . Несмотря на свой малый размер, тиратрон несложен в производстве: монтаж простой, запайка и

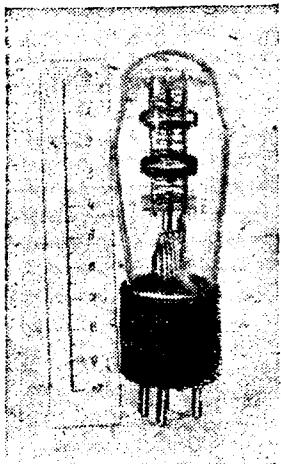


Рис. 1. Низковольтный тиратрон ТГВЭИ-1-24.

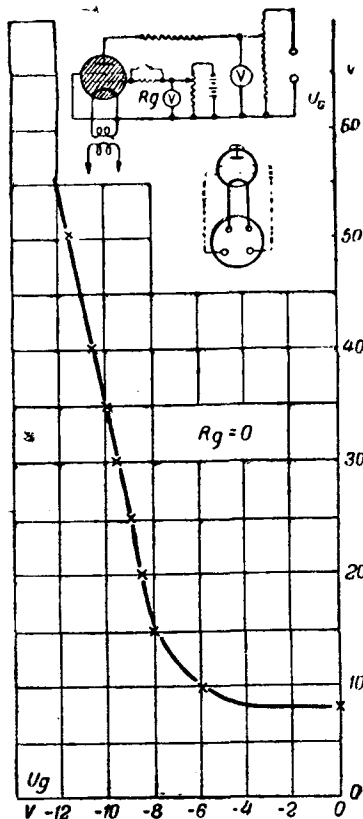


Рис. 2. Характеристика зажигания тиратрона; ТГВЭИ-1-24. $U_f = 8,0 \text{ V}$; $I_f = 1,2 \text{ A}$; время разогрева 40 sec .; допустимая амплитуда $I_a = 1,0 \text{ A}$; $U_{aобр.} = 100 \text{ V}$.

¹ Анод разделен на две части. Это сделано также в целях равномерного распределения эмиссионного тока по катоду.

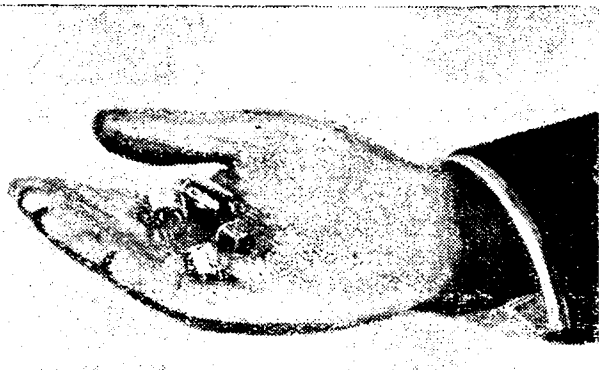


Рис. 3. Миниатюрный тиратрон ТГВЭИ-003-1000.

откачка осуществляются быстро. Производственный выход лампы, даже в опытной партии, был не ниже 70—80%.

Тиратрон сконструирован с гребешковой ножкой, «гребешком» наружу. В целях уменьшения потерь в высокочастотных схемах цоколь отсутствует. Включение тиратрона в схему производится при помощи его гибких выводов. Армаатура тиратрона состоит из двух эллипсоидальных цилиндров и катода, помещенного в один из них. Этот цилиндр, снабженный щелью, является сеткой тиратрона; второй цилиндр выполняет роль анода. Катодом служит W-образная оксидированная никелевая или вольфрамовая нить. При никелевой нити ток накала равен 0,16 А, при вольфрамовой 0,08 А. Малая мощность накала (0,2 Вт), помимо понятных достоинств высокоэкономичного катода, весьма просто разрешает вопрос термоэмиссионных токов сетки. Имея большую поверхность охлаждения, сетка является по существу «холодной», и сеточные токи тиратрона определяются лишь токами проводимости цепи сетка—катод. Сеточные токи тиратрона столь малы, что прибором с непосредственным отсчетом их измерить обычно не удается.

Благодаря этому пределы сопротивлений в цепи сетки раздвигаются до нескольких миллионов ом при стабильной характеристике тиратрона.

Пусковые характеристики, снятые при двух значениях сопротивления в цепи сетки, равном 1 МΩ и нулю, полностью совпадают (рис. 4), что подтверждает сказанное выше.

Высокочастотные качества этого тиратрона выражены еще более резко, чем в предыдущем типе. Кроме геометрии тиратрона, на время деионизации здесь оказывает влияние величина давления газа, наполняющего тиратрон. Его время восстановления (деионизации) лежит в пределах до 20 мкс. Это обеспечивает ему применение в самых разнообразных схемах, требующих быстроты действия (схемы разверток осциллографических устройств и т. д.). Целесообразно использовать этот тип тиратрона в специальных схемах малых размеров и там, где вопросы экономичного питания являются решающими. Отличительной особенностью тиратрона является возможность одновременной подачи на него анод-

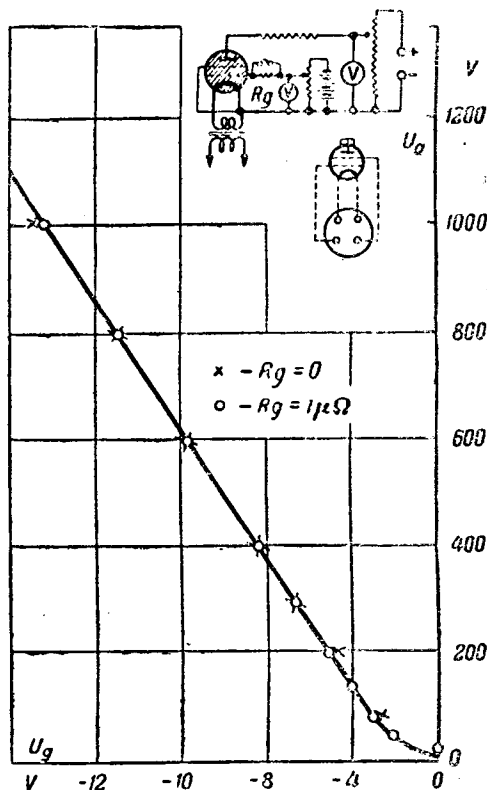


Рис. 4. Характеристики зажигания тиратрона ТГ-003-1000 $U_f = 2,5$ В; $I_f = 80$ мА; время разогрева практически равно нулю; допустимая амплитуда тока $I_a = 30$ мА; $U_{aобр} \geq 1000$ В.

ного и накального напряжений. В ряде схем это незаменимо. В приборе ТГВЭИ-003-1000 это стало возможным в результате малой тепловой инерции катода и наполнения тиратрона инертным газом. Опасения разрушения оксидного слоя в результате ионной бомбардировки и появления эмиссионных сеточных токов вследствие столь активного переноса бария с катода на сетку, оказались излишними. Тиратрон, поставленный в указанный режим, после порядка 90 000 включений, совершенно не изменил своих параметров.

Тиратрон обладает высокой механической прочностью и способен выдерживать резкие толчки, работать в условиях тряски в любом положении. В порядке испытания тиратрон несколько раз бросали на пол, с высоты трех-четырех метров, без заметного вреда для него.

20-А тиратрон ТРВЭИ-20-1500 (рис. 5) разработан для замены в электронных регуляторах напряжения 8-А тиратрона ТРВЭИ-8-2000. В тех же габаритах и при той же мощности накала катода удалось получить почти втрое большую анодную мощность. Это было достигнуто благодаря своеобразной конструкции подогревного катода. Сам катод выполнен в форме полого цилиндра, открытого с торцевых сторон. В отличие от существующих катодов подобного типа в тиратроне ТРВЭИ-20-1500 обе поверхности катода — внутренняя и наружная — оксидированы и являются активными. Это увеличило площадь катода вдвое

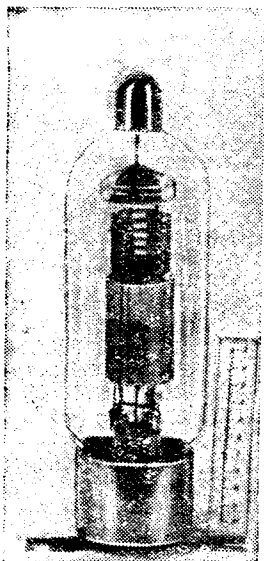


Рис. 5. 20 - амперный тиратрон ТРВЕИ-20-1500

и учитывая, что цилиндр катода изготовлен из никелевого полотна (сетка из тонкой проволоки с минимальными размерами ячеек), можно считать, что было достигнуто трех-четырёхкратное увеличение активной поверхности катода. Это позволило увеличить более чем вдвое разрядный ток тиратрона, при той же мощности подогрева, и соответственно повысить экономичность катода. Удельную эмиссию (A/cm^2) с площади катода также удалось снизить, что весьма благоприятно сказалось на сроке службы тиратрона.

Вопросу повышенного срока службы в данной разработке придавалось особое значение, так как частая смена ламп в эксплуатации крайне нежелательна. Как уже указывалось, тиратрон установлен в электронных регуляторах напряжения многих электростанций СССР, где он управляет величиной тока возбуждения возбудителя генератора переменного тока мощностью 50 000 kW. Выход тиратрона из строя может привести к аварийному отключению генератора и выключению всего обслуживаемого им промышленного района. К настоящему времени тиратроны, установленные на регуляторах напряжения более двух лет назад, проработали по 18 000—19 000 h, продолжая бесперебойно работать и далее. Такой значительный срок службы получен также отчасти и за счет повышения давления паров ртути в колбе тиратрона. Упругость ртутного пара взята предельно большой — едва обеспечивающая величину обратного напряжения в наиболее форсированном режиме тиратрона. Вследствие этого, условия работы катода были тем самым еще более облегчены ввиду уменьшения падения на тиратроне.

В связи с приведенными цифрами срока службы интересно отметить, что количество оксида в катодах этих приборов равнялось лишь 5 mg/cm^2 площади катода. Это указывает, что количество оксида на катоде не всегда гарантирует долговечность катода, как по традиции принято считать. Не всегда выгодно увеличивать толщину оксидного покрытия для обеспечения срока службы, так как это затрудняет активацию катода и ведет к таким неприятным явлениям, как осыпание оксида и пр. Часто технологически выгоднее пользоваться более тонким покрытием, позаботиться о соответствующем режиме работы катода. Катод вышеописанного типа, имея запас по эмиссионному току, способен к перегрузкам. Осциллограммы падения напряжения в цепи

анод—катод тиратрона при четырех-пятикратных перегрузках по анодному току в течение нескольких десятков микросекунд не обнаруживают увеличения падения напряжения по сравнению с номинальным режимом.

Конструкция «сетчатого» катода радикально разрешает вопрос осыпания оксида в ртутных приборах с мощным катодом. Испытания образцов ламп вышеописанного типа с катодами, изготовленными в одном случае из сетки, в другом из листового никеля, оказались весьма благоприятными. Включенные через 12 мес. хранения тиратроны с «сетчатыми» катодами не дали осыпания оксида совершенно, в то время как со «сплошного» катода наблюдалось бурное осыпание больших пластов оксида со всей поверхности катода. Тиратрон ТРВЕИ-20-1500 оформлен трехэлектродным. Конструкция его сильно упрощена по соображениям экономии материалов в связи с регулярным выпуском этих тиратронов для укомплектования электронных регуляторов напряжения.

ТГВЕИ-8-1500 — экранированный тиратрон наполненный аргоном. Наличие экранированной сетки позволило значительно повысить давление газа (до 0,18—0,2 mm Hg). Падение напряжения в лампе не превышает при этом 12 V и срок службы газового тиратрона увеличивается до нескольких тысяч часов.

Наиболее характерным в параметрах этого типа тиратрона является повышенная крутизна пусковой характеристики.

Отношение $\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}$ выбрано порядка 1 000 в целях удобства управления тиратроном в схеме, для которой он предназначен. Согласно характеристике (рис. 6) достаточно изменить сигнал на сетке на десятую долю вольта, чтобы включить тиратрон. Но в таком режиме может работать лишь тиратрон, имеющий совершенно стабильную характеристику. В данной конструкции это достигнуто применением управляющей сетки большого диаметра, вынесенной из зоны излучения тепла катодом и анодом тиратрона, что снизило температуру сетки, сделало термотоки с ее поверхности малыми и независимы-

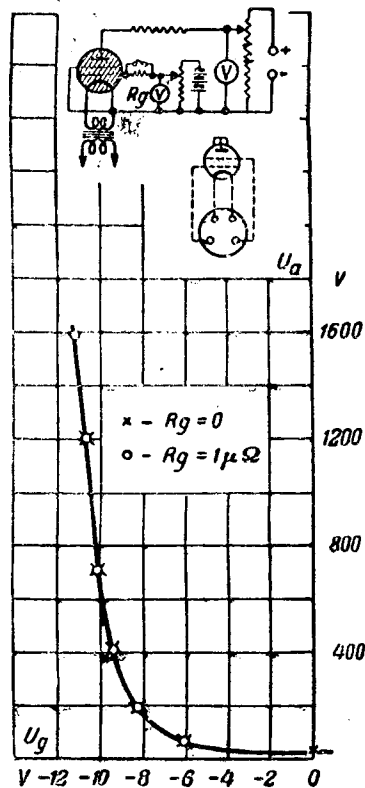


Рис. 6. Характеристика зажигания тиратрона ТГВЕИ-8-1500. $U_f = 5,0 \text{ V}$; $I_f = 15 \text{ A}$; время разогрева 30 sec; допустимая амплитуда тока $I_a = 8 \text{ A}$; $U_{aобр} \geq 1500 \text{ V}$.

ми от величины анодной нагрузки тиратрона. Описываемый тиратрон употребляется в схемах автоматики и телемеханики с малыми по величине сигналами управления, в специальных измерительных устройствах, где требуется независимость условий работы от окружающей температуры, в схемах с большим коэффициентом усиления и малой мощностью управления.

Ртутные экранированные тиратроны средней мощности типа ТРВЭИ-8-2000 хорошо зарекомендовали себя в схеме электронных регуляторов напряжения, где они бесшумно работали по 15 000 — 20 000 ч и более. Катод в них, как и во всех тиратронах ВЭИ, оксидный. Керном служит никелевая лента, свернутая в бифилярную спираль. Арматура целиком изготовлена из карбонированной никелевой жести. Пусковая характеристика — отрицательная. Тиратрон имеет укороченную катодную ножку, благодаря чему температура жидкой фазы ртути в нем повышена до 80—90° С, что соответственно увеличивает рабочее давление, при котором работает тиратрон.

В тиратроне ТГВЭИ-40-3000 на ударный анодный ток в 40 А и напряжение 3 000 В применено комбинированное наполнение смесью ртутного пара и инертного газа. Это сообщает тиратрону качества ртутного и газового прибора. Наличие ртути в тиратроне делает прибор долговечным и способным к перегрузкам, присутствие же инертного газа позволяет осуществлять пуск тиратрона при низких температурах, а время пуска сокращает до нескольких десятков секунд. Чтобы тиратрон не имел «ступенчатой» характеристики и положение пусковой характеристики не менялось при переходе от «газового» режима к «ртутному» при разогреве его в работе, пришлось соответствующим образом выбрать геометрию тиратрона и величину давления газа и ртутного пара. Переход от одного состояния к другому смещает пусковую характеристику только на 0,5 В в область отрицательных сеточных напряжений.

Наличие добавочной сетки в тиратроне позволяет получать целое семейство пусковых характеристик с помощью подачи на нее потенциала того или иного знака. На рис. 7 дан общий вид ТГВЭИ-40-3000. Опытная партия тиратронов выпущена для схем электроприводов со значительными толчками анодного тока при реверсировании.

Малогабаритный ртутный газотрон ГРВЭИ-06-5000, рассчитанный на анодное напряжение 5 000 В и анодный ток 06 А, изображен на рис. 8. Газотрон отличается большим запасом электрической прочности. Зависимость обратного напряжения от температуры окружающей среды обеспечивает ему применение в схемах с номинальным напряжением даже в таких жестких условиях, как +50 и +55° С. При +35° С газотрон имеет более чем трехкратный запас по обратному напряжению. Время пуска — интервал между включением накального и анодного напряжений — удалось снизить до 15 сек. против принятых 3 мин для подобных ртутных приборов. В ряде

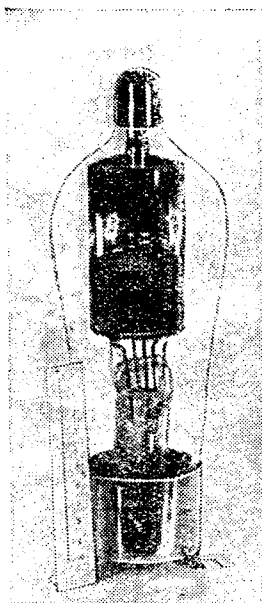


Рис. 7. Тиратрон ТГВЭИ-40-3000.

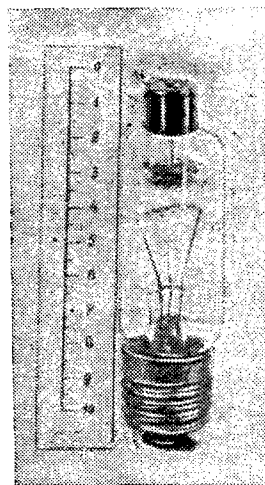


Рис. 8. Малогабаритный ртутный газотрон ГРВЭИ-06-5000.

установок, особенно военных, это имеет существенное значение. Газотрон применяется в высоковольтных выпрямительных устройствах — для питания анодных цепей передатчиков, полевых радиостанций, для питания специальной аппаратуры и т. д.

Один из вариантов конструкций высоковольтного тиратрона, разработка которых ведется сейчас в ВЭИ, показан на рис. 9. Он рассчитан на анодное напряжение 10 000 В и анодный ток в 10 А. Баллон тиратрона и его ножки — катодная и специальная высоковольтная анодная — изготовлены из молибденового стекла. Катод — прямого накала, оксидный. Анод — графитовый. Управляющая сетка тиратрона является одновременно и экранирующей. Плотно сидящая на верхней анодной ножке и закрывающая катод снизу сетка препятствует возникновению разряда между катодом и анодом по длинным обходным путям, оставляя свободным лишь путь через внутреннюю диафрагму, которая и является собственно сеткой. Эта часть сетки изготовлена из графита, являющегося идеальным материалом для этой цели ввиду высокой излучательной способности и большой работы выхода. Даже при продолжительном прямом попадании бария с катода, графитовая сетка не дает заметного увеличения эмиссионных сеточных токов. Не случайно так часто приходится останавливаться на свойствах и конструкции управляющей сетки, так как ценность тиратрона в целом и качество его параметров определяются тем, в какой мере конструктору удалось снизить сеточные токи, сделать их независимыми от режима и времени работы прибора. Выбор материала сетки наряду с другими факторами имеет решающее значение. Доказательством этому служит то обстоятельство, что применение графита для сетки даже в этой закрытой конструкции, где охлаждение сет-

| Тип | Анодное напряжение (амплитудного значения), V | Анодный ток (амплитудного значения), A | Анодный ток (среднего значения), A | Напряжение накала, V | Ток накала, A | Вид катода | Внутреннее падение напряжения, V | Время пуска (разогрева), sec | Температурные пределы, °C | Наполнение | Габариты | |
|--|---|--|------------------------------------|----------------------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------|------------|
| | | | | | | | | | | | Высота, mm | Ширина, mm |
| ТГВЭИ-1-24 . . . | 24 | 1 | 0,3 | 8 | 1,2 | Оксидный, подогревный | 8 | 40 | -30+50 | Криптон-ксенон | 110 | 35 |
| ТГВЭИ-003-1000 . . . | 1 000 | 0,03 | 0,01 | 2,5 | 0,08-0,16 | Оксидный, прямой | 15 | 0 | -40+50 | Криптон-ксенон | 36 | 14 |
| ТРВЭИ-20-1500 . . . | 1 500 | 20 | 5 | 5 | 15 | Оксидный, подогревный | 12 | 300 | +15+45 | Пары ртути | 250 | 80 |
| ТГВЭИ-3-1500 . . . | 1 500 | 8 | 2,5 | 5 | 15 | Оксидный, прямой | 12 | 40 | -40+50 | Аргон | 220 | 80 |
| ТРВЭИ-2-2000 . . . | 2 000 | 8 | 2,5 | 5 | 15 | Оксидный, прямой | 12 | 300 | +15+45 | Пары ртути | 240 | 80 |
| ТГВЭИ-40-3000 . . . | 3 000 | 40 | 7 | 5 | 20 | Оксидный, прямой | 12 | 50 | -40+50 | Пары ртути+криптон-ксенон | 280 | 100 |
| ТРВЭИ-06-5000 (газотрон) | 5 000 | 0,6 | 0,2 | 2,5 | 3 | Оксидный, прямой | 12 | 15 | +15+45 | Пары ртути | 100 | 30 |
| ТРВЭИ-10-10000 . . . | 10 000 | 10 | 3 | 5 | 15 | Оксидный, прямой | 14 | 300 | +15+35 | Пары ртути | 350 | 90 |
| ТРВЭИ-50-15000 (перспективный тип) | 15 000 | 50 | 5 | 5 | — | Оксидный, подогревный | — | — | — | Пары ртути | — | — |

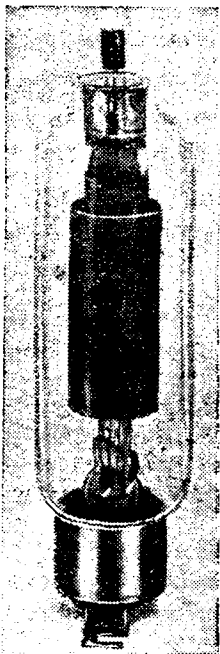


Рис. 9. Опытная конструкция ВЭИ высоковольтного тириатрона на 10 000 В, 10 А.

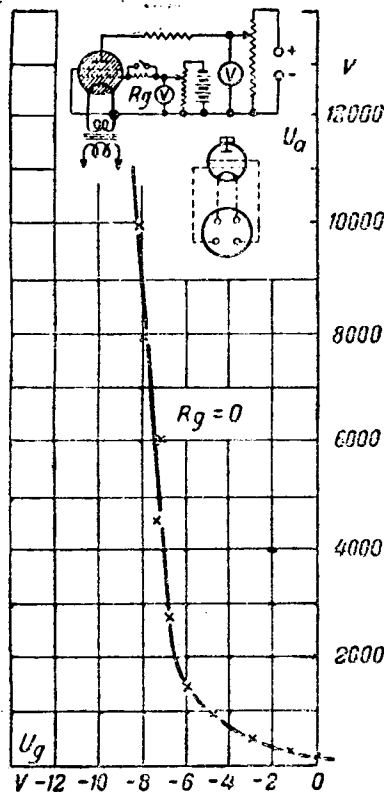


Рис. 10. Характеристика зажигания тириатрона типа ТРВЭИ - 10-10000. $U_f = 5$ В; $I_f = 15$ А; время разогрева 5 мин; допустимая амплитуда тока $I_a = 10$ А; $U_{обр} = 10 000$ В.

На рис. 10 дана пусковая характеристика высоковольтного тириатрона. Пользуясь большими расстояниями анод-катод, легко получить характеристику с коэффициентом управления от 2 000 до 6 000. Снижение анодного напряжения, при котором характеристика переходит из положительной области сеточных напряжений в отрицательную, часто происходит за счет уменьшения верхнего предела анодного напряжения, выдерживаемого тириатроном. Если часть характеристики оставить положительной и пересечение ее с осью сеточных напряжений осуществить при анодном напряжении, равном 2 000—4 000 В, возможно значительно поднять электрическую крепость тириатрона, но при этом появляются нежелательные токи на сетку (с катода) в правой части характеристики при положительных сеточных напряжениях.

Динамические характеристики тириатрона удовлетворительны. Тириатрон успешно проходит длительную эксплуатацию в режиме управляемого выпрямителя при амплитудных значениях анодного тока 6 А и напряжения 10 000 В.

Описываемая конструкция позволяет строить тириатроны малых и средних мощностей до напряжения порядка 15 000—20 000 В, сохраняя при этом нормальные плотности ртутного пара в колбе (общее падение на тириатроне не выше 14 В). В более мощных тириатронах необходимо делать анод открытым в целях лучшего охлаждения его в работе, а также по условиям обезгаживания токами высокой частоты при изготовлении прибора.

Результаты работы ВЭИ в области высоковольтных тириатронов делают возможным создание тириатронов на напряжение 20 000 В и выше и на токи 50 А и более.



ки затруднено, значительно снизило термоионные токи по сравнению с сеткой из карбонированного никеля.

Одноанодные ртутные выпрямители

Кандидат техн. наук Ф. И. БУТАЕВ, кандидат техн. наук В. Л. САВИЦКИЙ,
кандидат техн. наук Е. Л. ЭТТИНГЕР

Всесоюзный электротехнический институт

Тенденции развития и области применения. За последние 10—15 лет мощные металлические ртутные выпрямители повсеместно вытесняют другие типы преобразователей. Быстрый рост числа выпрямительных установок привел к тому, что установленная мощность выпрямительных установок исчисляется сейчас многими миллионами киловатт.

В электрометаллургии и электрохимии, для которых характерны относительно спокойные нагрузки, требуются выпрямительные установки большой мощности. Обычно в этих областях применяют ртутные выпрямители на выпрямленное напряжение от 400 до 1 500 В и ток 5 000—6 000 А, соединяемые по несколько единиц параллельно. Сеточное регулирование находит ограниченное использование, — напряжение регулируется в узких пределах (15—20%).

Электрифицированный транспорт использует выпрямители на различные мощности и напряжения. Магистральные и пригородные железные дороги требуют напряжения от 1 650 до 3 300 В при номинальном значении тока отдельного выпрямителя от 400 до 1 000 А. Городской транспорт (трамвай, троллейбус, метро) применяет напряжение от 500 до 825 В, токи единичного выпрямителя достигают 3 000—5 000 А. Для промышленного транспорта характерно напряжение 250—825 В и токи в единице от 200 до 1 000 А. Для транспорта вообще типична толчкообразная («тяговая») нагрузка. Толчки тока в 2—3 раза превышают среднее значение тока. В последние годы в области тяги появились установки с регулированием напряжения. Известны экспериментальные установки, обеспечивающие возможность рекуперации энергии при торможении поездов.

Сравнительно недавно (за последние 7—8 лет) стали достаточно широко применять выпрямители с сеточным управлением для питания и регулирования скорости электродвигателей постоянного тока.

В электроприводе используют выпрямители на напряжения от 200 до 800 В, и весьма разнообразной мощности — от нескольких десятков до нескольких тысяч киловатт. Характер на-

Проводится сравнение различных типов выпрямителей—многоанодных, одноанодных и инвертированных—и подчеркиваются преимущества одноанодных выпрямителей. Описаны одноанодные выпрямители ВЭИ типа РМНВ-200 × 6 и опыт эксплуатации этих выпрямителей в Подмосковном угольном бассейне.

грузки—обычно переменный, иногда резко толчкообразный. Основное требование, предъявляемое к ртутным выпрямителям для электроприводов, —

регулирование выпрямленного напряжения в широких пределах и, во многих случаях, инвертирование тока для обеспечения возможности рекуперации энергии при торможении двигателей. Сеточное управление как в выпрямительном, так и в инвертерном режиме должно обеспечивать максимальную надежность работы.

Для зарядных устройств и питания прожекторных установок применяются выпрямители небольшой мощности (на десятки и, реже, сотни киловатт). Для радиостанций используют выпрямители высокого напряжения от 10 000 В и выше.

Основные типы металлических выпрямителей. Основным типом выпрямителей, выпускавшихся европейскими и американскими фирмами примерно до 1935 г., был многоанодный ртутный выпрямитель с постоянной откачкой и водяным охлаждением. Выпрямители, имеющие в одном корпусе 6, 12, 18 анодов, строились на самые разнообразные токи и напряжения — до 6 000 А при 850 В и до 50 000 В при 10 А.

В 1934 г. американская фирма Westinghouse разработала новый тип ртутного выпрямителя—инвертированного. Основная особенность инвертированного — это, как известно, отсутствие постоянно горящей дуги возбуждения. В инвертированных в непроводящую часть периода катодное пятно отсутствует. Каждый период переменного тока пятно возбуждают с помощью специального зажигающего устройства — инвертирующего, погруженного в ртуть.

Стремление конструкторов снизить степень вероятности обратных зажигания привело к разработке одноанодных инвертированных. Размещение анодов выпрямителя в отдельных цилиндрах, исключающее влияние горящих анодов на неработающие, снижает вероятность обратных зажигания и позволяет уменьшить расстояние между анодом и катодом, что, в свою очередь, дает значительное снижение падения напряжения в дуге выпрямителя.

Высокий к. п. д. и удобство одноанодной конструкции для серийного производства, обеспечили быстрый рост выпуска игнитронов. Например, общая мощность многоанодных выпрямителей, выпущенных GEC с 1924 по 1942 г., составляет 432 000 kW, а игнитронов за вдвое меньший срок фирма выпустила на мощность 965 000 kW.

В 1940 г. ВЭИ разработал одноанодный ртутный выпрямитель с постоянно горящей дугой возбуждения. Опытный цилиндр выпрямителя был построен в начале 1941 г., но выпуск первой партии выпрямителей задержался до 1943 г.¹

Таким образом, в настоящее время существуют три типа мощных металлических выпрямителей: многоанодный ртутный выпрямитель, игнитрон и одноанодный выпрямитель с дугой возбуждения. В дальнейшем мы будем называть последний тип выпрямителя одноанодным ртутным выпрямителем.

Параллельно с развитием выпрямителей, выполняемых с постоянной откачкой и водяным охлаждением, разработаны выпрямители безнасосные (отпаянные) и выпрямители с воздушным охлаждением, получившие в последние годы весьма широкое распространение. Выпрямители с воздушным охлаждением разрабатывались, главным образом, в Европе.

Основными типами выпрямителей во всем диапазоне средних и больших мощностей являются три перечисленных выше типа с постоянной откачкой и водяным охлаждением.

Естественно возникает вопрос, какой из этих трех типов основных выпрямителей имеет наибольшие перспективы развития. По этому поводу можно отметить, что передовые американские фирмы (GEC, Westinghouse, Allis Chalmers) в последние годы решительно отходят от многоанодных конструкций. Подобные же тенденции намечаются и в Европе. Это движение в пользу одноанодных выпрямителей находит свое оправдание в ряде преимуществ этой конструкции.

Можно отметить следующие основные преимущества одноанодных конструкций.

1. Уменьшение вероятности обратных зажигания, а в выпрямителе с сетками — облегчение работы сеточной защиты, вследствие разделения дуг отдельных анодов по самостоятельным вакуумным корпусам. При подобной конструкции отсутствует приток ионов от соседних мощных дуг.

2. Меньшее падение напряжения в дуге выпрямителя. Иначе говоря, более высокий к. п. д. и большая устойчивость дуги при перегрузках и нарушениях теплового режима.

3. Лучшее охлаждение цилиндров, что позволяет повысить мощность, снимаемую с каждого анода, при тех же размерах анода.

4. Уменьшение габаритов (особенно по высоте) и снижение веса выпрямителя.

5. Упрощение технологического процесса изготовления выпрямителей и возможность организации серийного поточного производства.

6. Гибкость схем включения: комплектуя по 3, 6 и 12 одноанодных выпрямителей, можно получать преобразователи различной мощности из одних и тех же цилиндров, что позволяет сократить число выпускаемых типов цилиндров до минимума.

7. В результате применения схемы Греца открывается возможность использования для питания выпрямителей обычных трехфазных силовых трансформаторов вместо специальных многофазных.

8. Упрощение ремонта выпрямителей и возможность сокращения резерва.

Указанные преимущества одноанодных выпрямителей одинаково присущи как игнитронам, так и одноанодным выпрямителям с дугой возбуждения. Какой же из этих типов является более совершенным?

По данным американских фирм игнитрон и одноанодный выпрямитель имеют примерно одинаковые габариты и вес, приблизительно одинаковые показатели по к. п. д., коэффициенту мощности, вероятности обратных зажиганий. Основное различие этих типов заключается в методе зажигания дуги.

В игнитроне зажигание дугового разряда происходит каждый период с помощью зажигающего, представляющего собой заостренный стержень из материала высокого сопротивления, частично погруженный в ртуть катода. Через зажигающий, синхронно с напряжением главного анода, пропускаются короткие импульсы тока. В момент прохождения через зажигающий импульса тока в месте контакта зажигающего с ртутью образуется катодное пятно. Возникает дуговой разряд между катодом и главным анодом.

Зажигающий монтируется на боковом вводе, изолированном от корпуса выпрямителя. Имеется специальное приспособление в виде стальных гофрированных трубок или диафрагм, обеспечивающее возможность регулировки извне глубины погружения зажигающего в ртуть, а также подъем зажигающего из ртути при транспортировке.

Срок службы зажигающего ограничен. Будучи расположен в самой горячей части выпрямителя и, подвергаясь воздействию грязи, плавающей на поверхности ртути, зажигающий поглощает вещества, изменяющие характеристику его сопротивления. После того как зажигающий загрязнится, для надежного зажигания требуется большая мощность, при этих условиях выпрямитель начинает давать пропуски зажигания. Этому дефекту работы сопутствуют колебания выпрямленного напряжения, перегрузка остальных цилиндров и нарушение нормального режима работы питающего выпрямитель трансформатора. Игнитроны снабжают специальной аппаратурой, указывающей пропуски зажигания, которая осуществляет отключение выпрямителя при частых пропусках.

Игнитроны применяются в нерегулируемых установках или в установках с неглубокой регулировкой.

¹ Аналогичные выпрямители были выпущены в 1941 г. американской фирмой Allis Chalmers под названием «экситрон».

Попытки использования игнитронов для питания двигателей постоянного тока привели фирму GEC к созданию выпрямителя промежуточного типа с зажигающими (игнайтерами) и анодом возбуждения, обеспечивающими своевременное зажигание главного анода при глубоком регулировании и при малых нагрузках. Использование обычных игнитронов в инверторных установках исключается: эти установки требуют абсолютно надежного зажигания главной дуги, так как каждый пропуск или запаздывание зажигания ведет к аварии.

В одноанодном выпрямителе дуга возбуждения зажигается при включении выпрямителя и поддерживается во все время его работы. Аноды возбуждения и зажигания не подвержены действию грязи. В выпрямителях этого типа нет изнашивающихся частей (подобно игнайтеру), которые требуют частой замены.

Пропуски зажигания главной дуги практически весьма редки: если дуга возбуждения возникла, то практически всегда имеется значительный запас напряжения для ее поддержания, так как горение дуги возможно при половине или даже одной трети напряжения, необходимого для зажигания дуги. Проведенные испытания показывают, что при падении напряжения в одной фазе трехфазной системы до 30% номинального значения или при падении напряжения всех трех фаз до 50% номинального значения выпрямитель с постоянно горящей дугой возбуждения не выключается и продолжает нести нагрузку.

Метод зажигания и возбуждения дуги в одноанодных выпрямителях прост и надежен, а необходимая аппаратура значительно проще и дешевле аппаратуры зажигания игнитронов.

Одноанодный выпрямитель с дугой возбуждения и сеточным управлением работает как в выпрямительном, так и в инверторном режиме и может быть использован в любой области, где вообще возможно применение управляемых выпрямителей.

Приведенная сравнительная характеристика игнитронов и одноанодных выпрямителей показывает, что различие этих выпрямителей заключается не только в конструктивных особенностях системы зажигания, но и в рабочем процессе и эксплуатационных свойствах выпрямителей. Сравнение показывает, что одноанодный выпрямитель имеет свои преимущества. Практика показывает, что новый тип выпрямителя успешно конкурирует с игнитроном, несмотря на свое позднее появление в промышленности и преобладающие позиции игнитрона. Дальнейшее развитие выпрямителей этого типа, повидимому, пойдет по линии создания безнасосных конструкций и конструкций с воздушным охлаждением.

Одноанодные выпрямители в СССР. По предложению ст. научного сотрудника Ф. И. Бутаева в 1939 г. (в связи с производившимися работами по электроприводам с управляемыми ртутными выпрямителями) в ВЭИ была предпринята разработка специального выпрямителя, состоящего из шести цилиндров. Каждый цилиндр должен был содержать катод, главный анод, аноды воз-

буждения и приспособление для зажигания дуги. Применение таких одноанодных выпрямителей значительно упрощало схемы регулируемого электропривода.

Приходится с сожалением отметить, что завод «Электросила» им. С. М. Кирова, являвшийся в то время единственным изготовителем металлических ртутных выпрямителей, категорически отказался принять на себя разработку и изготовление одноанодных ртутных выпрямителей, мотивируя отказ сложностью и нерентабельностью этой конструкции в производстве.

Конструкция первого опытного цилиндра выпрямителя на 167 А (1 000 А в шести цилиндрах) была разработана в 1940 г. ст. научным сотрудником ВЭИ В. Л. Савицким при участии научного сотрудника И. Д. Школина. В начале 1941 г. опытный завод ВЭИ изготовил первый опытный цилиндр.

Испытания первого цилиндра проводились сначала на постоянном токе, затем на переменном токе в трех- и шестифазных схемах, с сеточным управлением и без него. Испытания показали хорошие результаты, что позволило приступить к проектированию полного комплекта выпрямителя. В начале 1941 г. приступили к изготовлению первого промышленного образца шестицилиндрового выпрямителя на напряжение 600 В и ток 1 000 А. В середине 1941 г. был спроектирован мощный двенадцатицилиндровый выпрямитель на 5 000 А, 800 В. Война помешала осуществлению этих проектов. Работы эти были возобновлены лишь в марте 1943 г.

В 1943 г. ВЭИ выпустил первую партию одноанодных ртутных выпрямителей для угольной промышленности.

На рис. 1 показан внешний вид одноанодного ртутного выпрямителя ВЭИ типа РМНВ-200×6. В табл. 1 сопоставлены размеры и веса выпрямителей ВЭИ типа РМНВ-200×6 и РВ-10 завода «Электросила».

Таблица 1

Сопоставление габаритов и весов одноанодного выпрямителя ВЭИ типа РМНВ-200×6 и выпрямителя РВ-10 завода «Электросила»

| | РМНВ-200×6 | РВ-10 |
|---|------------|------------------------------|
| Длина, мм | 2 065 | 1 640 |
| Ширина, мм | 950 | 1 500 |
| Высота, мм | 1 422 | 2 120 |
| | | (с учетом разборки—3 040 мм) |
| Вес комплекта с масляным насосом и форвакуумным баком, кг | 980 | 1 825 |
| Вес воды, кг | 19 | 475 |
| Вес ртути, кг | 26,5 | 27 |
| Конструктивный вес, кг | 950 | 1 350 |
| Шкаф управления: | | |
| Длина, мм | 400 | 300 |
| Ширина, мм | 800 | 650 |
| Высота, мм | 1 150 | 1 100 |

Изготовленные выпрямители испытывались в лаборатории при выпрямленном напряжении до 600 В и токе (длительном) до 1 200 А. Давалась также кратковременная (в течение 30 сек) перегрузка на 100%. Выпрямители работали вполне

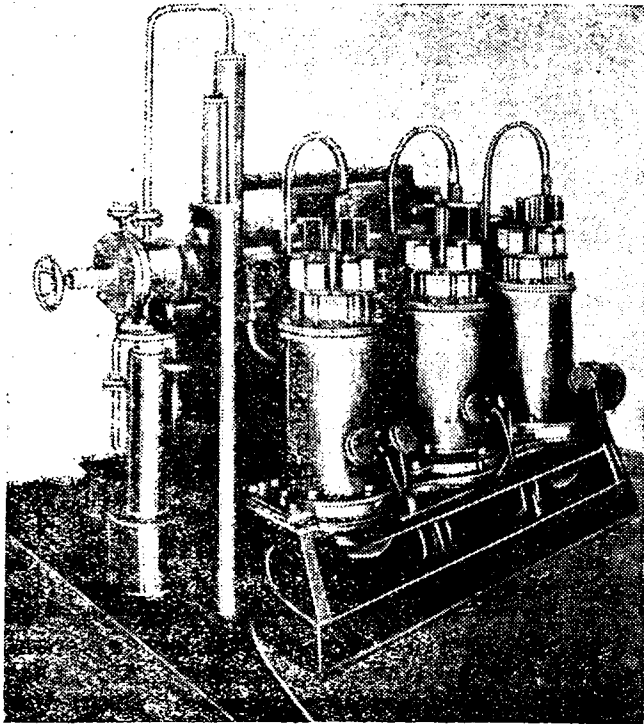


Рис. 1. Внешний вид одноанодного металлического ртутного выпрямителя ВЭИ типа РМНВ-200 × 6.

удовлетворительно — без обратных зажиганий, несмотря на низкое качество таких основных материалов, как железо «Армко» для головок анодов, фарфор и резина.

Падение напряжения в дуге выпрямителя составляло 14—17 В, в зависимости от нагрузки и температуры выпрямителя, что значительно меньше, чем в многоанодном выпрямителе.

Опыт изготовления первой партии выпрямителей показал, что этот тип выпрямителя удобен в производстве. Благодаря небольшим размерам основных деталей выпуск его может базироваться на среднем оборудовании (токарные станки с высотой центров до 200 мм).

Необходимо отметить, что первые сведения о работе фирмы Allis Chalmers над одноанодными выпрямителями были получены в 1941 г., более полные каталожные данные поступили лишь в 1943 г. Таким образом, независимо от работы американских фирм в ВЭИ были разработаны и построены первые в Союзе одноанодные выпрямители.

За период с 1943 г. по 1945 г. ВЭИ изготовил 20 выпрямителей. Одиннадцать из них установлены на шахтах Подмосквовного угольного бассейна для питания линий электровозной откатки, один выпрямитель эксплуатируется кинофабрикой Мосфильм, один на трамвайной подстанции в Москве и г. д.

Двухлетний опыт эксплуатации показал, что выпрямители ВЭИ хорошо работают даже в тяжелых условиях (частые короткие замыкания, низкая температура охлаждающей воды, отсутствие квалифицированного персонала). Имевшие место мелкие неполадки относились к неисправностям аппаратуры (обрывы выводов от сопро-

тивлений, нарушения контактов, поломки пакетных выключателей). В настоящее время упрощена схема зажигания возбуждения, что увеличило надежность агрегатов.

Два типа цилиндров одноанодных выпрямителей (на 200 и 500 А) дают возможность получить достаточно широкую шкалу мощностей выпрямительных агрегатов. В табл. 2 приводятся значения выпрямленных токов при выпрямленном напряжении до 850 В.

Таблица 2

Шкала выпрямленных токов (А), составленная на основе двух типов цилиндров одноанодных выпрямителей ВЭИ

| Тип цилиндра | Схема соединения | | |
|--------------|------------------|--------------------------------|------------------|
| | Трехфазная Греча | Шестифазная с катушкой Кюблера | Двенадцатифазная |
| I | 500 | 1 000 | 2 000 |
| II | 1 500 | 3 000 | 6 000 |

Таким образом, два типа цилиндров одноанодных выпрямителей вполне перекрывают всю шкалу токов ртутных выпрямителей, выпускавшихся до войны заводом «Электросила».

Перечисленные выше преимущества одноанодных ртутных выпрямителей, положительные результаты испытаний опытной партии выпрямителей в ВЭИ и в эксплуатационных условиях, простота изготовления и возможности быстрого освоения производства, — все это позволяет считать этот тип выпрямителя вполне пригодным для серийного производства в Советском Союзе.

Краткое описание одноанодного ртутного выпрямителя ВЭИ типа РМНВ-200-6. Выпрямитель состоит из следующих основных частей: цилиндров (6 шт.); рамы; системы откачки; системы охлаждения; системы возбуждения и зажигания.

Разрез цилиндра выпрямителя дан на рис. 2. Цилиндр изготавливается из цельнотянутой трубы с внутренним диаметром 206 мм. Откачная труба, фланцы, патрубки привариваются атомно-водородной или газовой сваркой. Между основным цилиндром и водяной рубашкой приваривается спираль, направляющая поток охлаждающей воды.

Основными частями анода являются: головка, изготавливаемая из графита или железа Армко, токопроводящий стержень, манжета, фланцы, изоляторы, уплотнения, радиатор и в управляемом варианте — сетка. Расположение и сопряжение отдельных деталей ясны из рис. 2.

Катод выпрямителя представляет собой открытый сверху сосуд, наполненный ртутью. Дно сосуда охлаждается водой, для чего предусмотрена водяная рубашка с направляющей спиралью. Катод изолируется от корпуса фарфоровым кольцом. Для уплотнения служат резиновые прокладки. Для защиты фарфорового кольца и резиновых прокладок от действия дугового разряда используется кварцевый или шамотовый щиток. В катод вварен корпус зажигающего.

Электромагнитный зажигатель (рис. 3) состоит из неподвижного электрода, соединенного с корпусом цилиндра, и электромагнитного насоса.

Зажигатель работает следующим образом: при пропускании тока через катушку 1 сердечник 2 втягивается и выбрасывает через сопло 3 струю ртути. Струя ртути ударяется в неподвижный электрод и замыкает цепь обмотки трансформатора зажигания, затем струя разрывается, при этом возникает дуга, создающая на поверхности ртути катодное пятно.

Аноды возбуждения служат для поддержания дежурной дуги в выпрямителе в ту часть периода, когда главный анод не проводит тока. Аноды состоят из графитовых головок, токопроводящих стержней и крепящих фланцев.

Рама выпрямителя предназначена для крепления на ней шести цилиндров, откачной трубы с вакуумным краном и ртутным насосом, вакуумметра Мак-Леода, масляного насоса, форвакуумного бака, системы труб и шлангов водяного охлаждения, распределительного щитка и электропроводки. Рама выполнена в виде сварной конструкции, позволяющей легко снимать отдельные цилиндры, а также аноды и катоды. В раме предусмотрены крюки для подъема.

Система откачки состоит из общей вакуумной трубы с патрубками для присоединения шести цилиндров, вакуумного крана, ртутного насоса, форвакуумного бака, масляного насоса и вакуумметра Мак-Леода².

Вода для охлаждения выпрямителя должна циркулировать в замкнутой системе.

Температура воды для охлаждения выпрямителя должна быть не ниже 10—15° С и не выше 25° С. Расход воды составляет около 0,8—0,9 л/ч на каждый ампер выпрямленного тока при перепаде температур входящей и выходящей воды около 15° С. Для возможности наблюдения за протеканием воды в отдельных цилиндрах сливные трубки выведены каждая отдельно.

Необходимость отдельных анодов возбуждения и приспособлений для зажигания дуги в каждом цилиндре является основным неудобством одноанодных выпрямителей.

Детальная разработка этого вопроса показала, что необходимые устройства не так сложны.

Разработаны две системы возбуждения — на постоянном и на переменном токе. Достоинством первой системы является наличие лишь одного анода возбуждения в каждом цилиндре и устойчивая дуга при сравнительно малых токах возбуждения. К недостаткам ее относится необходимость специального выпрямителя (купроксного или селенового) для питания цепей возбуждения.

Для выпрямителей ВЭИ типа РМНВ-200×6 принята система возбуждения на переменном токе, принципиально мало отличающаяся от

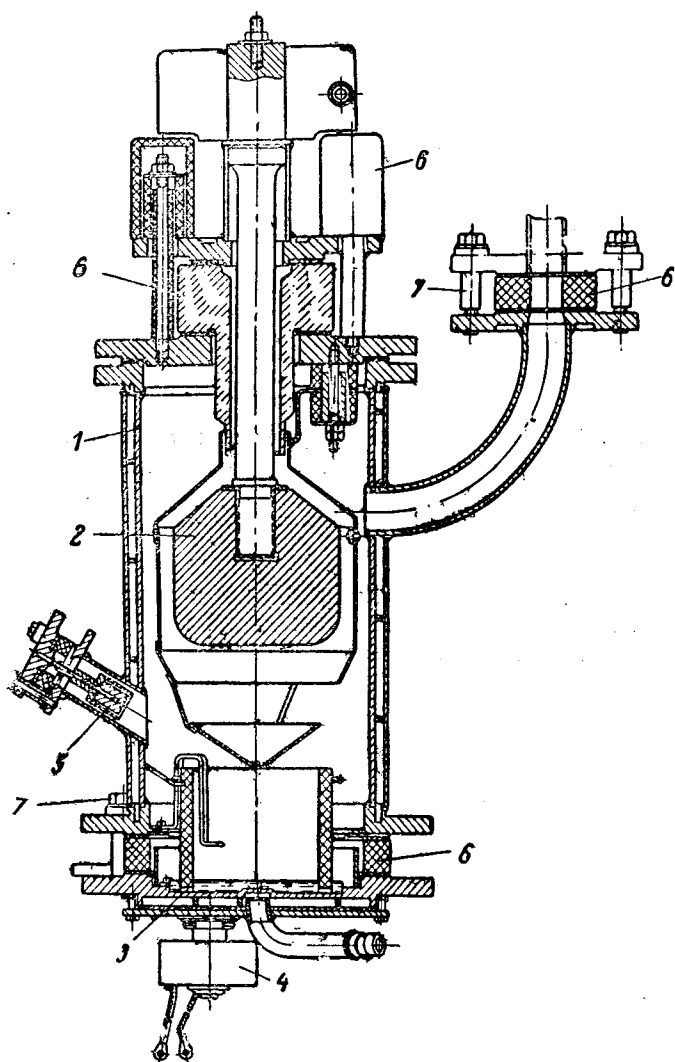


Рис. 2. Разрез цилиндра выпрямителя РМНВ-200×6.

1—собственно цилиндр с водяной рубашкой, фланцами для крепления электродов, откачной трубкой и патрубками; 2—головка анода; 3—катод с донницей и кварцевым (или шамотным) щитком; 4—электромагнитный зажигатель; 5—аноды возбуждения; 6—изоляторы и уплотнения; 7—крепящие детали.

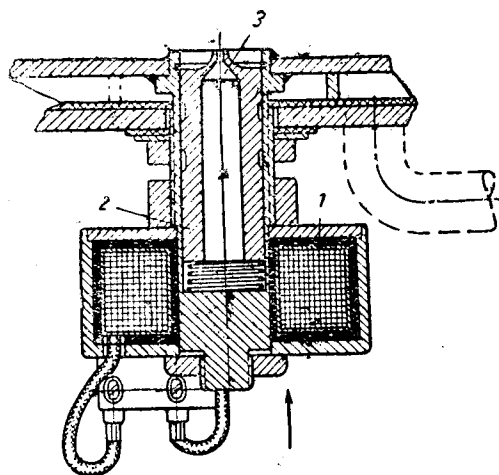


Рис. 3. Электромагнитный зажигатель.

1—катушка; 2—сердечник; 3—сопло.

² В выпрямителях последнего выпуска сложный вакуумный кран заменен небольшим пробковым краном между форвакуумным баком и ртутным насосом.

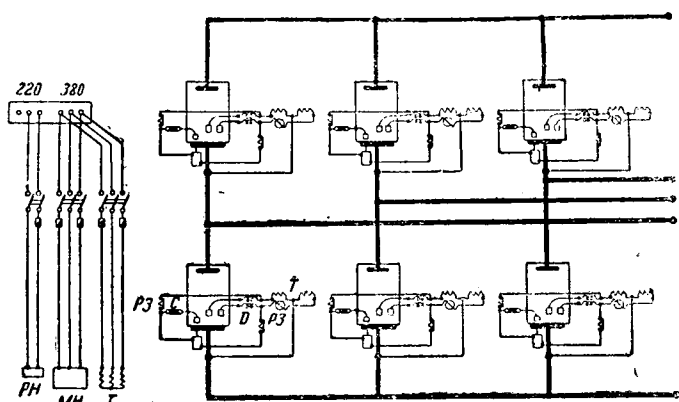


Рис. 4. Схема зажигания возбуждения выпрямителя.

T—трансформатор возбуждения зажигания (первичная обмотка—трехфазная, шесть вторичных обмоток); *D*—сглаживающие дроссели цепей возбуждения; *C*—сопротивления цепей зажигания; *PЗ*—реле зажигания с выдержкой времени отпадания.

обычно принятой для многоанодных выпрямителей. Аппаратура для питания цепей возбуждения и зажигания дуги в отдельных цилиндрах объединена в одном шкафу. Система зажигания работает следующим образом.

Трансформатор возбуждения зажигания включается, на анодах возбуждения и между катодом и электродом зажигания появляется напряжение. Так как контакты реле *PЗ* нормально замкнуты, в катушке механизма зажигания появляется ток. Механизм зажигания срабатывает, и струя ртути замыкает катод с электродом зажигания. Реле *PЗ* возбуждается и разрывает цепь катушки механизма зажигания. При обрыве ртутной струи возникает дуга, на поверхности ртути образуется катодное пятно и разряд переходит на аноды возбуждения. Если дуга возбуждения не возникает при обрыве ртутной струи, реле *PЗ* теряет возбуждение и его контакты вновь включают катушку механизма за-

жигания; то же произойдет и при случайном погасании дуги возбуждения. Таким образом, система обеспечивает автоматическое зажигание дуги во всех цилиндрах выпрямителя при включении трансформатора возбуждения зажигания, а также при случайных погасаниях дуги.

Выводы. Развитие мощных металлических ртутных выпрямителей привело к созданию трех основных типов — многоанодного выпрямителя; инвертора и одноанодного выпрямителя. Наиболее перспективным типом мощного металлического выпрямителя является, по нашему мнению, одноанодный выпрямитель. В СССР одноанодные выпрямители типа РМНВ-200 × 6 на силу тока 200 А в одном цилиндре разработаны и освоены в опытном производстве в ВЭИ. В настоящее время в ВЭИ изготовлена также серия мощных одноанодных выпрямителей типа РМНВ-500 × 6, описание которого дано ниже в отдельной статье В. Л. Савицкого.

Два указанных типа выпрямителей обеспечат необходимую шкалу мощностей выпрямителей на токи от 500 до 6000 А при напряжениях до 850 В.

Преимущества, присущие одноанодным металлическим выпрямителям, дают основание ставить вопрос о проведении широких научно-исследовательских работ, направленных на создание мощных одноанодных высоковольтных выпрямителей на напряжение 1650—3300 В и выше для электрических железных дорог, а также на создание выпрямителей на напряжения до сотен киловольт для линий передачи электрической энергии постоянным током.

В заключение необходимо отметить продолжающуюся недопустимую медлительность электропромышленности в развертывании производства одноанодных ртутных выпрямителей и выпуске их крупными сериями для удовлетворения нужд народного хозяйства СССР.



Мощный одноанодный ртутный выпрямитель

Ст. научный сотрудник В. Л. САВИЦКИЙ

Всесоюзный электротехнический институт

Лаборатория ртутных выпрямителей ВЭИ впервые в Союзе начала в 1940 г. разработку отечественной конструкции одноанодных выпрямителей с дугой возбуждения.

Более ранние попытки отойти от обычной конструкции многоанодных выпрямителей, обладающих рядом недостатков, были направлены по неправильному пути, — по пути создания двуханодных конструкций. Одноанодные металлические игнитроны до сих пор еще не вышли в Союзе из стадии испытаний, по причине неустойчивой работы игнайтеров — зажигаемых.

После успешных испытаний одноанодных выпрямителей типа РМНВ-200×6 на ток 1 000 А при напряжении 600 В, сконструированных и освоенных производством в ВЭИ, была поставлена задача разработать более мощный тип на ток 2 500—3 000 А при напряжении 825—600 В (тип РМНВ-500×6). Конструкцию такого выпрямителя автор разработал в 1944 г., и при участии всего коллектива выпрямитель был изготовлен в опытном цехе лаборатории в начале 1945 г.

Ртутный выпрямитель трудно поддается расчету. Лабораторией была поэтому предпринята тщательная опытная проверка конструкции. Для этой цели предварительно был изготовлен один цилиндр, принципы конструкции которого проверялись на опытном ртутном выпрямителе. Затем был разработан шестицилиндровый агрегат, который после испытаний передали в эксплуатацию Московскому метрополитену.

Основные элементы конструкции. *Анодный узел.* Весьма большое разнообразие типов анодов современных выпрямителей и продолжающиеся непрерывные поиски улучшенных конструкций свидетельствуют, что до сих пор еще не найдено надлежащее решение вопроса.

На основе ознакомления с различными типами выпрямителей в ВЭИ была разработана конструкция анодного узла (рис. 1 и 2), характерной особенностью которой является применение чашеобразной графитовой сетки с отверстиями, расположенными как на торцевой, так и на боковой ее части. В этой части конструкция сходна с анодами американских игнитронов и экситронов последнего выпуска.

Описаны основные элементы конструкции нового мощного одноанодного ртутного выпрямителя, сконструированного и изготовленного лабораторией ртутных выпрямителей ВЭИ. Приведены результаты эксплуатационных испытаний выпрямителя на тяговой подстанции «Динамо» Московского метрополитена.

Значительно упрощена была верхняя часть путем исключения сопряжения сеточного ввода с главным вводом, как это принято, например, в

аноде выпрямителя типа РВ-50.

При наличии боковых отверстий имеется возможность использовать боковую поверхность анода, которая при обычных анодах совершенно не нагружена током. Если даже учесть фокусирующее действие отверстий сеток на разряд, то при уменьшенном диаметре анода, — что важно с точки зрения обезгаживания, — обеспечиваются небольшие значения плотности тока как в прямом, так и обратном направлениях.

Если принять активную поверхность анода

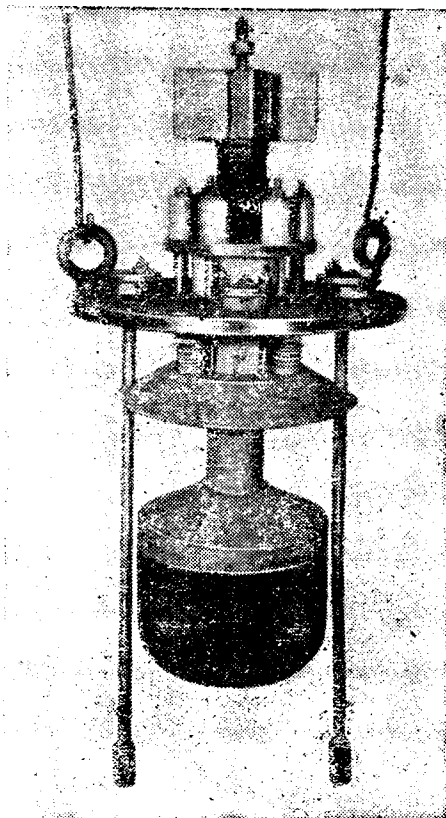


Рис. 1. Анодный узел выпрямителя.

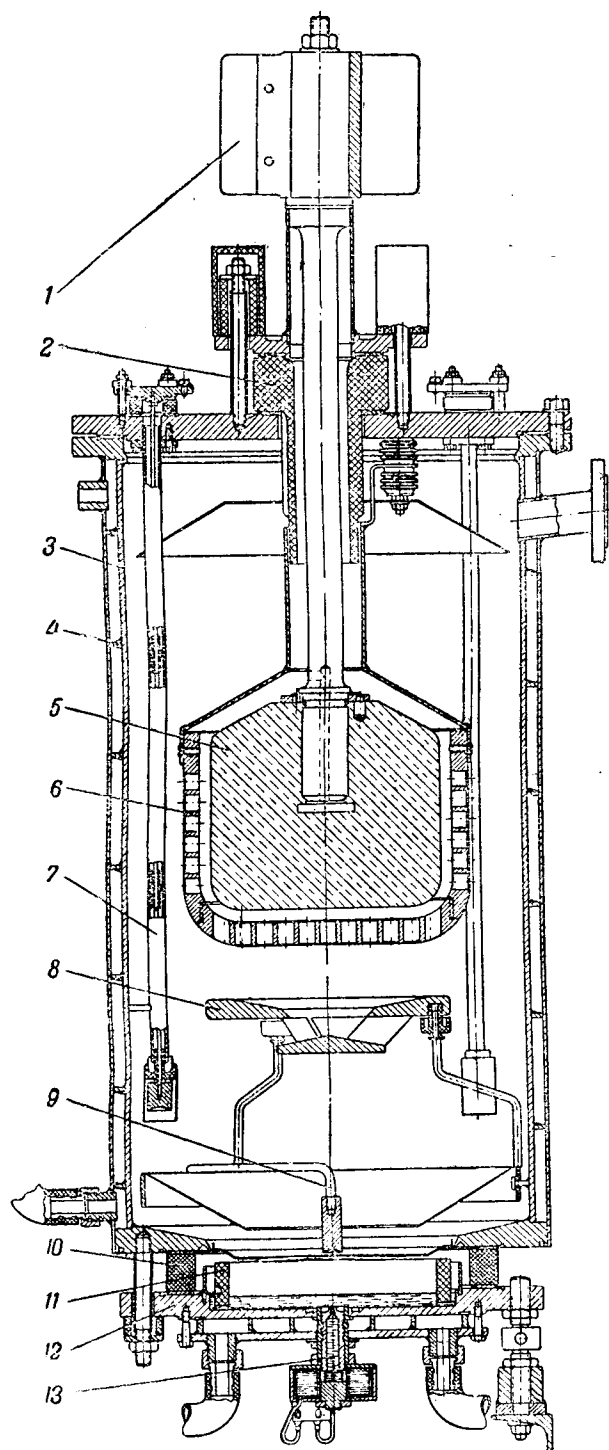


Рис. 2. Разрез цилиндра одноанодного ртутного выпрямителя типа РМНВ-500×6 конструкции ВЭИ.

1—радиатор; 2—изолятор анода; 3—вакуумный корпус; 4—спираль вольтовой рубашки; 5—головка анода; 6—сетка; 7—анод возбуждения; 8—отражатель; 9—анод зажигания; 10—изолятор катода; 11—шамотовый щиток; 12—катод; 13—ртутно-струйный зажигатель.

равной сумме площадей отверстий сетки, то при числе отверстий сетки $n = 349$, диаметре их $d = 18$ мм и равномерном распределении тока при среднем анодном токе 500 А плотность тока будет $0,56 \text{ А/см}^2$. В действительности плотность тока несколько выше. В случае применения обычной дисковой сетки, расположенной только с торцевой стороны головки анода, с коэффициентом

максимально возможного свободного прохода 0,7 при диаметре анода, равном 230 мм, принятом в описываемой конструкции,—получилась бы значительно более высокая плотность тока (порядка $1,7 \text{ А/см}^2$).

К положительным свойствам конструкции надо также отнести большую деионизационную способность сетки, уменьшающей обратный ток анода, благодаря ее развитой поверхности, а также благоприятные условия отдачи тепла от головки анода к стенкам корпуса.

Недостатком конструкции является несколько сложная обработка сетки, однако при наличии соответствующих приспособлений, как показал опыт производства значительного количества сеток, этот вопрос не имеет существенного значения.

Для экономии графита сетка вытачивается вместе с головкой анода из одного блока из двух свинчивающихся между собой частей. Как показали измерения оптическим пирометром на опытном цилиндре, температура анодной головки при среднем значении анодного тока 500 А составляет примерно 700°С . Температура резиновых уплотнений, благодаря наличию экрана, большому тепловому сопротивлению анодного стержня и развитой поверхности радиатора не превышает $55-60^\circ \text{С}$.

Катод. В одноанодном ртутном выпрямителе катодный ток как по величине, так и по форме тождественен анодному току. Следовательно, соотношение между максимальным и средним значением катодного тока, в отличие от многоанодных выпрямителей, больше единицы¹. Следствием этого является относительно высокая концентрация тепла в катодной и более интенсивное испарение ртути. Это вынуждает допускать в одноанодной конструкции плотность тока на катоде, значительно более низкую, обычно принимаемой в выпрямителях с одним общим катодом (2 А/см^2). В описываемой конструкции была принята плотность тока $1,38 \text{ А/см}^2$ и диаметр активной поверхности катода получился равным 215 мм.

Для уменьшения нагрева фарфорового кольца и резиновых уплотнений в катодной части предусмотрен шамотовый щиток и металлический кольцевой экран. Слив ртути происходит непосредственно во внутреннюю часть катода, что в известной мере гарантирует от возникновения катодного пятна в области между фарфоровым кольцом и шамотовым щитком. В центральной части катода расположен ртутно-струйный зажигатель, выбрасывающий ртуть на анод зажигания, который имеет потенциал корпуса.

Над катодом расположен графитовый, специальной формы, диск-отражатель, основное назначение которого — защита анода от прямых струй пара и брызг ртути. Отражатель изолирован от корпуса, и поэтому он не дает заметного увеличения падения напряжения в дуге.

¹ При шестифазной схеме с разделяющей катушкой оно равно 3.

Аноды возбуждения. При проектировании разрабатывались два варианта системы возбуждения — на постоянном и на переменном токе. Система возбуждения на постоянном токе конструктивно проще. Она требует одного анода возбуждения и, следовательно, одного ввода, но она оказалась весьма дорогой вследствие большой стоимости сухих выпрямителей. Предпочтение было отдано системе с двумя анодами возбуждения на переменном токе. Головки анодов возбуждения, прикрытые манжетами, опущены достаточно низко и работают в области с относительно большой плотностью паров, что, как известно, способствует устойчивому горению дуги при малых токах возбуждения. Защита стержня анода от разряда достигнута применением металлической трубки, изолированной от стержня в трех местах с помощью изоляторов из силиката магния. Большая длина защитных трубок потребовала установки внизу упоров, касающихся стенок корпуса. Как показали испытания, аноды возбуждения, даже при относительно холодном корпусе, работают вполне устойчиво при общем токе возбуждения 5—6 А. Устойчивости возбуждения значительно способствует взаимная изоляция корпусов.

Корпус. Вакуумный корпус каждого цилиндра выполнен из стандартной цельнотянутой трубы, имеющей после обработки внутренний диаметр 412 и высоту 800 мм. Основанием для выбора этих размеров, кроме соображений о достаточной конденсационной поверхности, было стремление получить необходимое сечение в пространстве сетка — корпус для обеспечения работы боковой поверхности головки анода.

Для лучшего использования охлаждающей воды, в полости водяной рубашки помещена спираль, впервые примененная в выпрямителях РМНВ-200×6 конструкции ВЭИ. Спираль увеличивает скорость воды, и коэффициент теплопередачи от стенки к воде повышается. В целях простоты и удешевления конструкции водяная рубашка выполнена приварной. Все вакуумные швы корпуса выполнены внутренней сваркой, что дает следующие преимущества: при внутренней сварке отсутствуют щели, из которых почти невозможно удалить грязь при чистке корпуса; внутренняя сварка в значительной степени облегчает контроль швов, обычно осуществляемый подачей сжатого воздуха в полость водяной рубашки, причем направление давления соответствует направлению давления при нормальной работе ртутника. Все вакуумные швы выполнены атомноводородной сваркой.

Рама. Крепление цилиндров к раме (рис. 3) осуществляется через катод каждого цилиндра. Деталь такого крепления, представляющая своего рода примитивный домкрат, ясно видна на рис. 2. Преимущества такого крепления: простота и дешевизна рамы, оформленной в виде плоской сварной конструкции из швеллеров; снижения числа звеньев изоляции между корпусом и вакуумным коллектором до одного; упрощение токоотводов от каждого катода, так

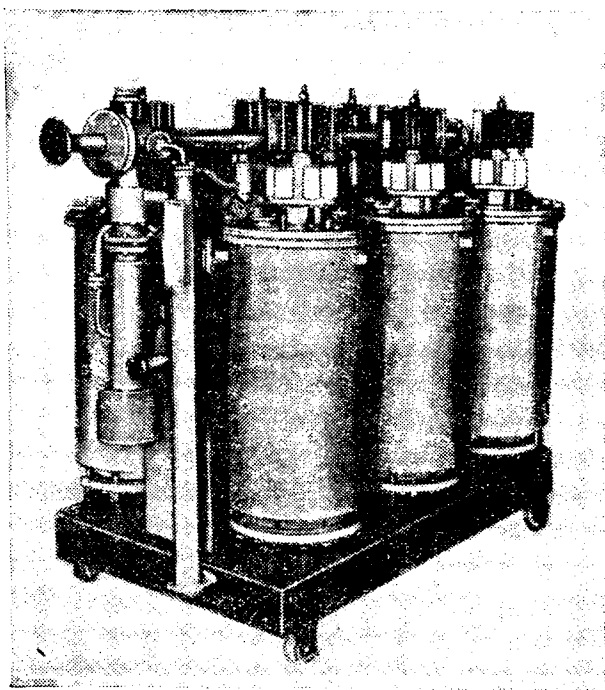


Рис. 3. Внешний вид одноанодного шестицилиндрового ртутного выпрямителя ВЭИ типа РМНВ-500 × 6 (2500 А, 825 В).

как рама связывает общим потенциалом все катоды. Добавочную жесткость всей конструкции придают откачные трубы, соединяющие каждый цилиндр с вакуумным коллектором.

Стоит указать, что при шестицилиндровом агрегате рама получается более простой, чем при двенадцатицилиндровом. Это является одним из доводов в пользу конструкции одноанодного ртутного выпрямителя с шестью цилиндрами на одной раме, при которой выпрямитель получается более транспортабельным.

Вакуумная система. В сравнении с многоанодной конструкцией вакуумная система получается конструктивно более сложной. Здесь каждый цилиндр с помощью трубы должен быть соединен с общим вакуумным коллектором. Однако, недостаток оказывается не столь существенным, если учесть возможность применения труб малого сечения (при хорошей вакуумной обработке деталей и достаточно точном соблюдении размеров цилиндров при массовом производстве) для облегчения как сборки цилиндров на раме, так и для присоединения к вакуумному коллектору.

Благодаря размещению форвакуумного бака и масляного насоса между цилиндрами, общие габариты удалось получить весьма небольшими.

В целях простоты, дешевизны, а также большей надежности, применен один общий вакуумный кран, расположенный между ртутным насосом и коллектором. Установка индивидуальных вакуумных кранов на каждом цилиндре может быть оправдана лишь при двенадцатицилиндровом агрегате. Этот вопрос мы связываем со

стоимостью резерва и также с возрастающими трудностями отыскания мест течи при большом количестве цилиндров.

Водяная система. В целях получения одинаковых температурных условий нами принят метод параллельного питания цилиндров охлаждающей водой. Для равномерного распределения воды по цилиндрам, учитывая малое сопротивление отдельных ответвлений, требуется иметь напор не менее 15 м вод. ст. Создание такого напора не представляет затруднений при замкнутой циркуляционной системе, которая при одноанодных ртутных выпрямителях в связи с повышенной коррозией является обязательной. Для возможности подрегулировки количества воды для каждого цилиндра предусмотрены индивидуальные водяные вентили, расположенные на раме. Охлаждающая вода попадает из расположенной внизу напорной трубы в водяную рубашку катода, затем проходит по спиральному каналу рубашки цилиндра и поступает в сборный водяной коллектор, находящийся над форвакуумным баком. Охлаждение ртутного насоса, как обычно, производится свежей водой. Вода, выходящая из насоса, проходит последовательно все рубашки вакуумных патрубков, для обеспечения конденсации ртутных паров до вакуумного коллектора.

Данные ртутного выпрямителя следующие:

| | |
|---|--|
| 1. Ток и напряжение | { 2 500 А при 825 В 3 000 А при 600 В |
| 2. Падение в дуге | 20,5 В при 2 500 А и $t_g = 35^\circ$ |
| 3. Количество анодов | 6 |
| 4. Диаметр головки анода | 230 мм |
| 5. Диаметр корпуса (внутренний) | 412 мм |
| 6. Активная поверхность катода | 360 см ² |
| 7. Температура выходящей воды t_g | 30—45°C |
| 8. Температура входящей воды | не ниже 15°C |
| 9. Расход воды при 2 500 А и перепаде 15°C | 2,83 м ³ /ч |
| 10. Габариты | 2 200 × 1 280 × × 1 790 мм |
| 11. Вес без воды (с форвакуумным агрегатом) | 2 250 кг |

Испытания. Формовку и эксплуатационные испытания ртутный выпрямитель проходил в 1945 г. на тяговой подстанции «Динамо» Московского метрополитена.

Графит анодных головок предварительно не был подвергнут вакуумной обработке, и формовка заняла примерно 8 суток. Максимальный ток формовки — 2 950 А при температуре выходящей воды 45° и при вакууме 0,8—0,9 мм. После испытания изоляции и обработки анодов от кенотронной установки агрегат 6 июля 1945 г. был включен на линию.

Первые дни ртутный выпрямитель работал параллельно с двумя выпрямителями РВ-40 со средней нагрузкой 1 400—1 600 А. В целях увеличения нагрузки было решено в часы утренних и вечерних пик (с 7⁰⁰ до 12⁰⁰ и с 16⁰⁰ до 20⁰⁰) перевести всю подстанцию на одноанодный агрегат, который, таким образом, заменял два нормально работающих выпрямителя типа РВ-40. Примерно в таком режиме, при макси-

мальных пиках нагрузки 3 000—3 200 А агрегат работал до 8 января 1946 г.

За время полугодовой эксплуатации было зарегистрировано 5 обратных зажигания, причем из трех обратных зажигания, происшедших до середины сентября, одно было связано с ухудшением вакуума вследствие порчи масляного насоса. Такое количество обратных зажигания нельзя признать большим, если учесть низкое качество графита головок анода (зольность 0,24—0,37%, в составе золы более 40% СаО, 2,8% MgO и других примесей) и то обстоятельство, что выпрямитель в порядке эксперимента после первой формовки был сразу же включен на линию, не подвергаясь обычной в таких случаях переборке и чистке.

В конце декабря 1945 г. в ночные часы были произведены перегрузочные испытания при работе ртутника на реостат. Исходя из наиболее напряженного предполагаемого графика движения поездов, Московский метрополитен поставил следующие условия для перегрузочных испытаний: а) перегрузки на 25 и 50%—согласно ГОСТ 2329—43; б) перегрузки на 100% при токе 5 000 А, продолжительностью по 10 сек с интервалами по 95 сек с общим количеством перегрузок, равным 20.

Такого перегрузочного режима выпрямитель РВ-40 (основной тип, используемый на метрополитене) не выдерживает, потому проведение перегрузочных испытаний представляло большой интерес для новой конструкции.

Перегрузка в 25% продолжалась 15 мин (вместо принятых 10 мин) с колебаниями тока 3 000—3 800 А. При опытах на перегрузку в 50% (3 750 А) испытание заняло 7 мин. В течение первой минуты нагрузка была увеличена с 1 600 до 5 200 А, затем за 2 мин снижена до 2 600 А, в течение последних 2 мин она колебалась от 2 800 до 4 800 А (среднее значение примерно 4 200 А). Перегрузки в 100% (5 000 А) были даны 22 раза, каждая продолжительностью по 10 сек с интервалами в 80—95 сек. Средняя нагрузка за 10 сек колебалась в пределах 4 800—5 500 А. Последний опыт при средней нагрузке 5 700 А продолжался 20 сек. Температура выходящей воды при всех перегрузках была 32—34°. Максимальное увеличение давления в конце испытаний на перегрузку 100% составляло 0,4 мм. За период всех перегрузочных испытаний обратных зажигания не было.

Опыты на глухие короткие замыкания на шинах постоянного тока не были проведены, так как до этого такое испытание на этой же подстанции успешно прошел опытный выпрямитель с аналогичной конструкцией анодного узла, но при несколько меньшем диаметре головки анода.

Из изложенного видно, что ртутный выпрямитель хорошо выдерживает перегрузки, предусмотренные ГОСТ 2329—43 для этого типа.

Интересно отметить, что даже при больших перегрузках падение в дуге этого выпрямителя ниже, чем падение в дуге у многоанодных выпрямителей РВ-40 (26—28 В) и РВ-30 (26 В) при

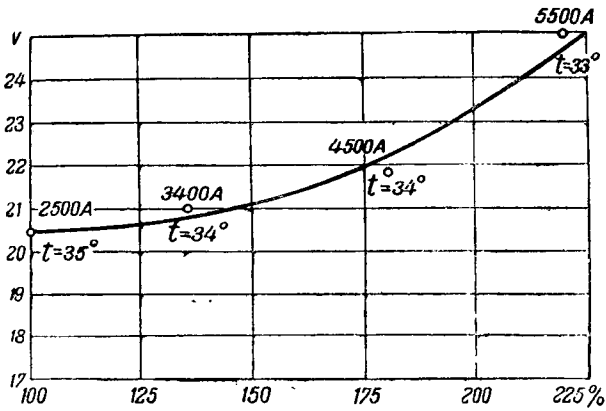


Рис. 4. Падение в дуге выпрямителя в зависимости от нагрузки $\left(\frac{I_d}{2500} 100\%\right)$.

их номинальной нагрузке. Это иллюстрирует кривая (рис. 4), построенная на основании осциллограмм падения напряжения в дуге (рис. 5), снятых при указанных перегрузочных испытаниях.

Расход охлаждающей воды был определен для одного цилиндра при среднем токе 420 А и при температурах входящей и выходящей воды, равных, соответственно, 25 и 35°С. Он составил 10,82 л/мин, что дает примерно 1,13 м³/ч на 1000 А при перепаде температуры в 15°С.

Заключение. Разработанный в ВЭИ мощный одноанодный ртутный выпрямитель типа РМНВ-500 × 6, как показали эксплуатационные испытания, является по своим показателям (к. п. д., перегрузочная способность, размеры, вес) аппаратом, значительно превосходящим ртутные выпрямители многоанодной конструкции РВ-30, РВ-40, которые имеют 12 анодов вместо 6. Простота конструкции позволяет легко наладить серийное производство подобных выпрямителей.

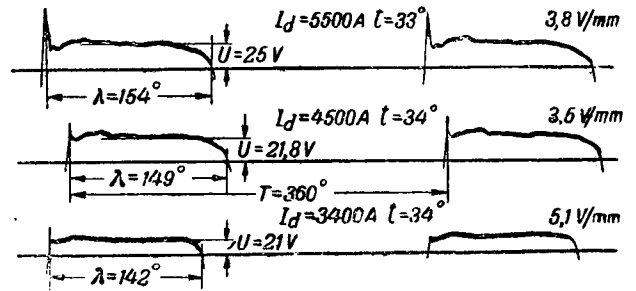


Рис. 5. Осциллограммы падения напряжения в дуге в режиме перегрузок.

Одновременно необходимо разрешить вопрос с производством теплообменников для циркуляционной системы охлаждения.

Отметим также те первоочередные задачи, разрешение которых будет способствовать внедрению одноанодных выпрямителей:

1. Разработка термостойких вакуумных уплотнений с целью исключения резины из конструкций.
2. Освоение производства высококачественного графита и методов его обезгаживания.
3. Разработка безнасосных ртутных выпрямителей с водяным и с воздушным охлаждением.

Считаю необходимым отметить большую помощь и участие в создании мощного одноанодного ртутного выпрямителя старшего конструктора А. А. Конова, начальника опытного цеха лаборатории И. Я. Широкова и инж. Н. С. Климова.

Большое внимание и помощь при испытаниях были оказаны заместителем начальника электро-механической службы Московского метрополитена Б. Г. Ждановым.



Лаборатория разрывных мощностей ВЭИ

Доктор техн. наук, проф. Ю. В. БУТКЕВИЧ

Всесоюзный электротехнический институт

Лаборатории разрывных мощностей имеют исключительное значение в развитии коммутационных аппаратов высокого напряжения. Только благодаря наличию таких лабораторий создавалась возможность двигать вперед технику мощных быстродействующих выключателей высокого напряжения.

Один из наиболее ответственных и сложных аппаратов в современных энергосистемах является выключатель и поэтому неудивительно, что мировая техническая мысль в течение последних трех десятилетий уделяла этому аппарату так много внимания. К сожалению, область производства высоковольтных выключателей является в нашей электропромышленности одной из наиболее отстающих. Это отразилось на замедлении внедрения в системы энергоснабжения последних достижений техники (АФВ, пофазное управление, быстродействующее отключение и т. д.). Нет сомнений, что эта отсталость является результатом отсутствия в системе электропромышленности мощных лабораторий разрывных мощностей. Важность этого вопроса в течение длительного времени недооценивалась. Это можно видеть из того, что небольшая по своим размерам лаборатория разрывных мощностей ВЭИ, вступившая в эксплуатацию в 1941 г., уже сыграла заметную роль в разрешении ряда научно-технических вопросов.

Создание лаборатории разрывных мощностей ВЭИ явилось большим достижением института и позволило создать солидную базу для научно-исследовательских разработок в области высоковольтной аппаратуры, приближая их к нуждам производства. Проблема дуги и ее гашения при обрыве цепей высокого напряжения в настоящее время еще не получила столь серьезного физического и математического обоснования, чтобы имелась возможность сколько-нибудь количественно обобщить опыт и предложить инженерам-конструкторам метод расчета дугогасительных систем. Единственным надежным средством для решения технических задач является эксперимент на реальных образцах и макетах.

Пятилетний опыт эксплуатации лаборатории разрывных мощностей ВЭИ может быть с успе-

В 1941 г. была закончена строительством и введена в эксплуатацию первая в Советском Союзе лаборатория разрывных мощностей ВЭИ. Предельная мощность, которая может быть получена от генератора при 8 кВ, составляет около 550 000 кВА. До настоящего времени генератор эксплуатировался в режиме, которому соответствует мощность около 250 000 кВА. Пять лет работы показали, что мощность установки может быть повышена. В течение этого срока эксплуатации установки были проведены исследования и разработки, имеющие существенное значение для электропромышленности.

хом использован при освоении более мощной лаборатории завода «Электроаппарат», сооружаемой в настоящее время.

Основная схема лаборатории. На рис. 1 показана однолинейная принципиальная схема. Основной синхронный гене-

ратор 1 приводится во вращение от асинхронного двигателя 2. Ротор генератора питается от возбuditеля 3, напряжение которого регулируется с пульта управления. Выводы от генератора выполнены при помощи шин. Регулирование величины тока короткого замыкания осуществляется при помощи трехфазного реактора 8, имеющего отпайки. Между генератором и реактором включены защитный 6 и оперативный 7 выключатели. От сборных шин после реактора отходят несколько кабелей: к испытательной камере, где помещается испытуемый объект; для питания повысительного трансформатора 6/35 кВ 9, вторичное напряжение от которого также подается в испытательную камеру; к понизительному трансформатору 10, служащему для получения больших токов (до 100 000 А) для термических и электродинамических испытаний.

В последнее время был установлен трехфазный понизительный трансформатор 11—2 400 кВА, 6/0,5 кВ для испытания низковольтных аппаратов в режиме коротких замыканий.

Схема позволяет осуществить как внезапные короткие замыкания предварительно возбужденного генератора, так и ударное возбуждение генератора, предварительно замкнутого на испытуемый объект (схема Сименса). Вторая схема дает возможность исключить постоянною составляющую тока короткого замыкания (шока в лаборатории испытания велись только по схеме внезапного короткого замыкания).

Для исследований аппаратов при относительно малых токах на том же стенде предусматривается возможность подачи напряжения до 6,6 кВ непосредственно или через повысительный трансформатор от небольшого генератора 12, установленного на подстанции Отдела высоких напряжений, мощностью 1 300 кВА. Для этой цели на шинную сборку подается специальный кабель от этого малого генератора.

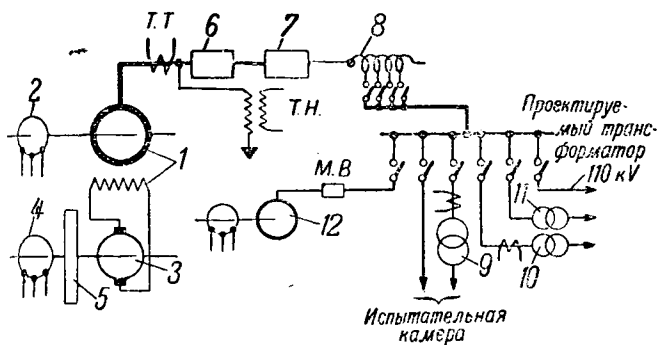


Рис. 1. Принципиальная схема лаборатории.

1—генератор ТИ-12-2, 15 000 кВА, 8 кВ; 2—приводной двигатель 3 кВт, 700 кВт; 3—возбудитель 1 000 кВт, 800 В; 4—приводной двигатель 1 200 кВт, 3 кВ; 5—маховик 14 т; 6—защитный выключатель; 7—оперативный выключатель; 8—реактор с переключением; 9—повысительный трансформатор 15 000 кВА, 6/35 кВ; 10—понижительный трансформатор 100 000 А; 11—трехфазный понижительный трансформатор 6/0, 5 кВ, 2 000 кВА; 12—малый генератор 6 кВ, 1 300 кВт.

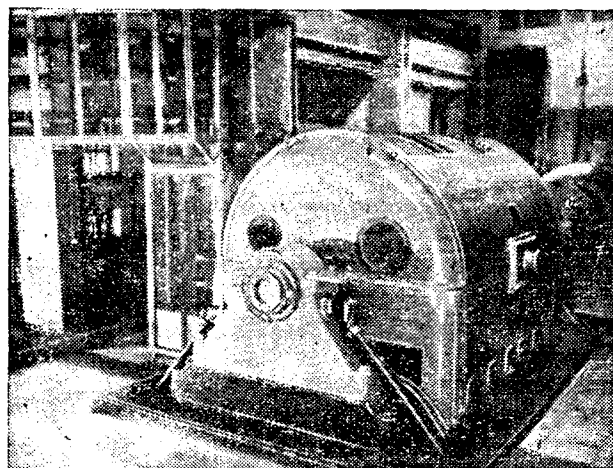


Рис. 2. Общий вид генератора ТИ-12-2 и возбудителя лаборатории разрывных мощностей ВЭИ.

Имеется также возможность питать от малого генератора через эту же сборку и установленные в лаборатории понижительные трансформаторы 10 и 11.

Основной агрегат лаборатории — ударный генератор ТИ-12-2, 3 000 об/мин, выполненный заводом «Электросила» им. Кирова (рис. 2), машина с усиленным креплением обмоток и пониженным реактивным сопротивлением. Ее модельная мощность 15 000 кВА, номинальное напряжение 8 000 В при соединении в звезду. Сверхпереходное реактивное сопротивление генератора по данным завода составляет около 2% [Л. 1]. По данным лаборатории на основе большого количества опытов внезапного короткого замыкания при напряжении 6 кВ сверхпереходное фазовое реактивное сопротивление составляет около 0,11 Ω.

Таким образом, при 6,6 кВ машина может дать приблизительно значение сверхпереходного тока короткого замыкания

$$I = \frac{U}{X} = \frac{6\,600\text{ В}}{\sqrt{3} \cdot 0,11\ \Omega} = 35\,000\text{ А},$$

а при 8 кВ—41 000 А, что составляет мощность в трехфазном режиме

$$P = \sqrt{3}UI = \sqrt{3} \cdot 8 \cdot 41\,000 \approx 560\,000\text{ кВА}$$

и при 6,6 кВ соответственно 400 000 кВА.

При приемке машины заводом, однако, было высказано пожелание, чтобы в первой стадии ее эксплуатации эффективное значение периодической составляющей тока не превосходило 20 000 А, а амплитуда тока 28 000 А.

Такое соотношение токов, следовательно, позволяло использовать машину только в режиме ударного возбуждения, когда периодическая составляющая тока к. з. отсутствует. При внезапном коротком замыкании, принимая коэффициент ударного тока 1,8, эффективное значение периодической составляющей могло быть получено только

$$I = \frac{28\,000}{1,8\sqrt{2}} = 11\,000\text{ А}.$$

После первых серий опытов мы решили пойти на режим, когда эффективное значение периодической составляющей тока в фазе не превосходило бы 20 000 А, а ударный ток соответственно был допущен до 50 000 А.

Через пять лет эксплуатации (после 5 000 коротких замыканий) машина была вскрыта. Осмотр показал, что обмотки находятся в хорошем состоянии. Повидимому, имеется возможность существенно поднять ток короткого замыкания, снимаемый с машины. Этот вопрос должен быть решен совместно с заводом.

Генератор приводится во вращение асинхронным двигателем Бушера 700 кВт, 3 кВ. Пуск двигателя производится путем переключения числа полюсов. Разворот машины до 1 500 об/мин. продолжается 50 сек. и на второй ступени от 1 500 до 3 000 об/мин — 100 сек. После пяти лет эксплуатации двигатель в основном находится в порядке; замечено продольное смещение некоторых стержней верхнего слоя пусковой обмотки.

Смазка генератора и двигателя принудительная. Эксплуатация показала, что в масляном насосе бывают случаи «срыва» вакуума за счет перегрева насоса и образования паров масла. В последнее время эти случаи удалось почти исключить.

Агрегат возбуждения состоит из генератора постоянного тока ГП-8-1000 на 1 000 кВт, 800 В, 1 250 А, 750 об/мин и приводного асинхронного двигателя 1 200 кВт, 3 кВ, 750 об/мин с фазным ротором. На общем валу с машинами сидит маховик 14 т для стабилизации оборотов машины при работе по схеме ударного возбуждения, когда ток возбуждения достигает 3 000 А.

Якорь генератора ГП-8-1000 присоединяется к кольцам ротора основного генератора посредством двухполюсного контактора КП-5. У контактора КП-5 специально созданы условия, ухудшающие гашение дуги на случай разрыва цепи

ротора под током, во избежание перенапряжений в обмотке ротора. При опытах короткого замыкания этот контактор всегда отключается автоматически при гашении поля генератора, когда ток в цепи ротора проходит приблизительно через нулевое значение при реверсировании поля возбуждателя. Реверсирование поля достигается при помощи двух пар контакторов, включенных в цепи обмотки возбуждения, питаемой от подвозбудителя. В последнее время питание обмотки возбуждения возбуждателя переведено на аккумуляторную батарею, что дало возможность использовать подвозбудитель для питания приводов оперативного и защитных выключателей.

Обмотка якоря машины ГП-8-1000, судя по опыту эксплуатации, выполнена не вполне удовлетворительно. В 1943 г. имели место два случая междувитковых замыканий при повышении напряжения на машине всего только до 500 В. Эти повреждения удалось сравнительно легко устранить, так как они имели место на лобовых частях.

Повидимому, вследствие малой загрузки машины и недоброкачественной изоляции стержней обмотки, имеет место отсыревание изоляции, особенно в зимнее время при резких колебаниях температуры в машинном зале.

Повысительный трансформатор—трехфазный, изготовленный по специальному заказу Московским трансформаторным заводом им. Куйбышева. Этот трансформатор имеет модельную мощность 20 000 kVA, первичное напряжение 6 kV и вторичное 35 kV, при соединении вторичных обмоток в звезду. Все шесть концов обмоток выведены на крышку трансформатора. Реактивное сопротивление трансформатора — около 2% (относено к номинальной мощности трансформатора 15 000 kVA). Такое низкое реактивное сопротивление достигнуто за счет применения перемежающихся слоевых обмоток. Трансформатор установлен на открытой площадке в непосредственной близости от испытательной камеры. За время эксплуатации трансформатор выдержал более 2 000 коротких замыканий, после чего он потерпел аварию и был отремонтирован на трансформаторном заводе. Эту аварию, однако, нельзя отнести за счет недоброкачественности конструкции трансформатора. Дело в том, что в 1941 г. во время эвакуации из бака трансформатора было выпущено масло, а в 1943 г. он был залит маслом и подвергнут сушке на месте установки. При этом обмотки после сушки не были подтянуты. Это привело при последующих опытах короткого замыкания, которых было сделано более 1 000, к смещению обмоток, повреждению бакелитового цилиндра и пробоем между обмоткой высокого напряжения и сердечником на двух фазах при испытании макета выключателя на напряжение 30 kV и выведенном полностью реакторе, т. е. при наибольшем токе короткого замыкания. При аварии нормально сработала газовая защита трансформатора.

Защитный и оперативный выключатели. В качестве защитного выключателя использован

горшковый маслообъемный масляный выключатель МГФ-19—опытная конструкция завода «Электроаппарат» с одним баком на фазу. За время работы лаборатории этот выключатель потерпел две аварии, сопровождавшиеся перекрытием баков. В одном случае перекрытие произошло при работе генератора в схеме треугольника. Поскольку реактор стоит за выключателем, перекрытие между фазами на выключателе привело к полному короткому замыканию на генераторе. Эффективное значение тока короткого замыкания составило при этом более 50 000 А, а амплитуда тока около 80 000 А. Авария явилась следствием того, что на главных контактах выключателя возникла дуга. В результате аварии массивные двери ячейки, где установлен выключатель, были сорваны и отброшены примерно на 10 м. Выключатель был быстро восстановлен и продолжает исправно работать. Установлен более тщательный контроль за состоянием дугогасительных контактов выключателя в течение его эксплуатации.

В качестве оперативного выключателя использован баковый масляный выключатель ВМ-23 на 1 000 А. Опыт показал, что для данных целей, т. е. для работы в качестве замыкателя цепи на короткое, данный выключатель явно слаб. Его контакты быстро изнашиваются и требуют частой замены. Кроме того, из-за покачивания траверз трудно добиться одновременности замыкания всех трех фаз, что затрудняет испытание в трехфазном режиме, например, таких аппаратов, как предохранители. Предполагается этот выключатель заменить специально изготовленным замыкателем с контактами в воздухе и с приводными пружинами, работающими на включение, во избежание случайных «срывов» и замыкания контактов под током.

Пульт управления и измерительное оборудование. Пульт управления находится на втором этаже лаборатории. Из помещения пульта управления открывается вид на машинный зал и на испытательную камеру. В этом же помещении установлены щиты аварийной сигнализации, автоматики, осциллографы (катодные и электромагнитный) и изготовленный на опытном заводе ВЭИ автоматический командо-контроллер, управляющий всеми процессами в схеме. Установка различных относительных времен действия отдельных объектов достигается при помощи смещения дисков на валу контроллера. Непосредственно к помещению пульта управления примыкает фотокомната для обработки осциллограмм.

На пульте изображена мнемоническая схема первичной цепи коммутации. Здесь сосредоточены ключи и кнопки для запуска двигателей основных и вспомогательных агрегатов. Вся схема приходит в действие от пускового ключа, подающего напряжение через блокирующий контактор на командо-контроллер. На пульте имеется также переключатель, позволяющий переводить любую цепь управления с автоматического управления на оперативное. Пульт управления также снабжен указателем положения разъединителей

ступеней реактора на всех трех фазах. Осциллографы приводятся в действие автоматически также от командо-контроллера через промежуточные реле. В лаборатории имеются два катодных осциллографа с механической разверткой—трехлучевой с холодными катодами и двухлучевой с горячими катодами; до сего времени использовался только второй, обеспечивающий большую оперативность при испытаниях.

Делитель напряжения применен омический, раздельно на 10 и 35 kV. Делитель расположен в ячейке, примыкающей к испытательной камере.

Помимо обычных измерительных приборов на пульте помещается также специальная установка для измерения давлений в испытываемых объектах. Датчик этой установки располагается на испытываемом объекте и представляет собой прибор с мембраной и электромагнитной катушкой. Прогиб мембраны ведет к изменению индуктивности прибора, которая вводится в плечо моста Уитстона. Шлейф осциллографа вводится в нулевую диагональ моста. Модулирующая частота схемы составляет 1 000 Hz.

Реактор для регулирования величины тока короткого замыкания изготовлен Московским трансформаторным заводом. Использована была обычная конструкция с кабельными обмотками, залитыми в бетон. Каждая фаза реактора имеет 7 отпаек. Реактивное сопротивление каждой фазы может устанавливаться равным 0; 0,04; 0,16; 0,32; 0,55; 0,8; 1,3; 2Ω. При опытах в двухфазном режиме количество возможных ступеней индуктивности в цепи значительно увеличивается за счет не одновременной, а поочередной перестановки ступеней фаз. Разъединители, служащие для перестановки ступеней реактора, снабжены сигнальными контактами, замыкающими цепь соответствующих неоновых лампочек, установленных на пульте управления.

Исследования и разработки, проведенные в лаборатории разрывных мощностей ВЭИ. Первыми объектами исследования явились предохранители с кварцевым песком и газогенерирующие выключатели, а также и дугогасительные камеры воздушных выключателей.

Значительный объем исследований был проведен в 1941 г. А. М. Мелькумовым по мощным плавким предохранителям с кварцевым песком. В течение нескольких месяцев были испытаны образцы нескольких типов этих аппаратов, в результате чего была установлена серия на 3; 6 и 10 kV до 50 А номинального тока и на разрывную мощность до 200 000 kVA. После некоторых изменений эта серия в 1944 г. была внедрена на заводе «Пролетарий», который в настоящее время освоил массовое производство плавких предохранителей до 100 А [Л. 2].

В 1941—1942 гг. А. М. Бронштейном были проведены исследования нового типа разъединителя мощности 6 kV, 200 А, на основе нормальных разъединителей (упрощенная конструкция). В 1943 г. эти аппараты были приняты для про-

изводства на заводе «Уралэлектроаппарат» и в настоящее время освоены в массовом производстве на Ленинградском заводе «Электроаппарат». Этим же заводом подготавливается к производству на основе работ ВЭИ разъединитель мощности на 200 А, 10 kV без выброса пламени. В этих аппаратах с успехом используется в качестве дугогасящего материала органическое стекло (плексиглас) [Л. 3].

В связи с началом войны исследования в области безмасляных выключателей, начатые в 1941 г., были прекращены и возобновились лишь в 1943 г. В течение 1944—1945 гг. при участии значительной части коллектива лаборатории и конструкторского бюро, и особенно А. М. Бронштейна, Ф. Ф. Бабурского и Г. С. Пузырьского, было проведено исследование нескольких вариантов газогенерирующего выключателя на 6—10 kV. В результате этих работ в 1945 г. был создан оригинальный отечественный газогенерирующий выключатель, существенно превосходящий по своим дугогасительным свойствам аппараты AEG [Л. 4].

Разрывная способность выключателя 200 000 kVA (на 6 kV) и 300 000 kVA (на 10 kV). Аппарат в основной своей части принят к производству на заводе «Электроаппарат». В качестве твердого дугогасителя использован плексиглас. Продолжаются работы по изысканию еще более совершенных методов гашения дуги.

В 1944 г. были возобновлены также работы по воздушным выключателям. Первой нашей задачей было создание воздушного выключателя до 2 500 000 kVA на 110 kV. После исследования нескольких типов дугогасительных камер Е. М. Цейровым был разработан и изготовлен на опытном заводе ВЭИ макет выключателя на 110 kV, который в 1945 г. подвергся испытанию сначала в лаборатории, а потом в системе Мосэнерго на полную мощность. Результаты оказались вполне удовлетворительными [Л. 5] и послужили основанием для проектирования промышленного образца выключателя, которое уже закончено совместно с заводом «Электроаппарат». Выпуск этих выключателей будет освоен на заводе в ближайшее время. Подготавливаются к испытаниям также образцы воздушных выключателей на 35 и 220 kV. Предварительные испытания дугогасительной способности этих аппаратов уже проводятся.

Большая работа проведена, начиная с 1944 г., в области трубчатых разрядников, в результате чего была освоена новая серия разрядников из органического стекла, которая продолжает разрабатываться и в настоящее время [Л. 6, 7].

В последнее время З. Л. Жиронкиной под руководством А. М. Мелькумова закончена разработка и исследование мощных плавких предохранителей на 35 kV для наружной установки. Принцип действия этих аппаратов основан на разложении твердого дугогасителя (плексиглас). Испытание разработанных образцов в лабора-

тории разрывных мощностей показало, что разрывная мощность полученных предохранителей составляет более 500 000 kVA. Освоение в производстве мощных предохранителей на 35 kV позволит в ряде случаев заменять ими масляные выключатели.

Настоящий краткий обзор показывает, что небольшая лаборатория разрывных мощностей, созданная в ВЭИ, позволила решить ряд весьма существенных для нашей электропромышленности вопросов. Однако, построение мощных выключателей заставляет прибегать к испытаниям в системах, что не всегда возможно и чрезвычайно ограничивает темпы освоения новой техники. Сооружение и пуск в эксплуатацию более мощной лаборатории является очередной важнейшей задачей.

В заключение необходимо отметить, что в создании лаборатории разрывных мощностей ВЭИ исключительная роль принадлежит погибшему на фронте в дни Отечественной войны Д. О. Штейнгаузу. Монтаж оборудования лаборатории

весьма тщательно проведен под руководством Д. Г. Красина. В восстановлении лаборатории в 1943—1944 гг. деятельное участие приняли Н. М. Чернышев и С. И. Яблонко.

Литература

1. Е. Г. Комар. Ударные генераторы завода „Электросила“ им. Кирова. ВЭП, № 1, 1940.
2. А. М. Мелькумов. Мощные высоковольтные предохранители с кварцевым песком. Электричество, № 7, 1945.
3. А. М. Бронштейн. Газогенерирующий разъединитель мощности. Электричество, № 7, 1945.
4. Ю. В. Буткевич и А. М. Бронштейн. Выключатель с твердым газогенерирующим веществом 6—10 kV, 200—300 тыс. kVA. Электричество, № 5, 1946.
5. Е. М. Цейров. Гасительная камера воздушного выключателя ВЭИ на 110 kV. Электричество, № 5, 1946.
6. Ю. В. Буткевич, Е. С. Гройс и М. Л. Зеликин. Трубочные разрядники на основе нового газогенерирующего материала. Электричество, № 7, 1945.
7. Ф. В. Безруков. Усовершенствование трубчатых разрядников из органического стекла. Электричество, № 9, 1946.



Новый тип линейных объемных сопротивлений „дефар“

Кандидат физико-матем. наук В. И. ПРУЖИНИНА-ГРАНОВСКАЯ

Всесоюзный электротехнический институт

Радиопромышленность и техника высоких напряжений широко применяют неметаллические сопротивления. В области связи в основном пользуются сопротивлениями с линейной вольтамперной характеристикой, в технике высоких напряжений — сопротивлениями с безинерционной нелинейной характеристикой. Однако, и техника высоких напряжений нуждается в линейных сопротивлениях, например: для работы в качестве шунтирующих сопротивлений вентильных разрядников или высоковольтных безиндукционных сопротивлений (для потенциометров и других элементов схем) и т. п. Между тем изготавливаемые у нас сопротивления типа Каминского пригодны лишь для рабочих напряжений не выше 500 В.

Высоковольтная техника нуждается в сопротивлениях, способных пропустить кратковременно импульсные токи порядка сотен и более ампер, стойких к импульсным напряжениям порядка десятков киловольт (при длительности импульса от единиц до нескольких десятков микросекунд) и годных для длительной работы не менее 100 ч при температуре 100—200° С.

Сопротивления, удовлетворяющие первым двум требованиям, должны быть объемными, а не тонкопленочными. Тогда аккумулируемые в них кратковременно очень большие количества энергии распределяются в сравнительно большом объеме, что исключит возможность перегрева элементов сопротивления.

Линейные сопротивления должны быть стабильными и иметь малый температурный коэффициент сопротивления. Этому требованию, особенно в случае многоомных сопротивлений, можно удовлетворить, изготавливая сопротивления из материала с большой удельной электропроводностью в виде тонкопленочных сопротивлений [Л. 1, 2]. Небольшой температурный коэффициент сопротивления можно, однако, также обеспечить, создав в теле сопротивления непрерывные тонкие угольные нити. Практически это осуществляется путем пропитки пористого керамического тела раствором углевода и последующе-

Изложены основные особенности нового вида керамических объемных сопротивлений «дефар» с линейной вольтамперной характеристикой. Сопоставлены свойства сопротивлений дефар и тонкопленочных сопротивлений. Показано, что дефар выдерживает большие импульсные токи и напряжения. При длительной нагрузке дефар не имеет ограничений по величине напряжения, кроме ограничений, налагаемых величиной развиваемой при этом мощности. Указано, что дефар нашел применение в качестве высоковольтного сопротивления в вентильных разрядниках и в других схемах.

го высокотемпературного обжига в соответствующей среде. В результате получается плотное керамическое сопротивление, в порах которого будут распределены закоксовавшиеся, тонкие угольные нити углевода. Диаметр и количество таких прожилок определяют свойства сопротивлений, а плотность керамического черепка — его стабильность во времени и влагостойкость.

Технология изготовления. Сопротивления дефар представляют собой керамические стерженьки или трубки черного цвета, механической прочности того же порядка, что и фарфор.

Основные технологические процессы изготовления сопротивления следующие; фарфоровая масса продавливается через муштак диаметром от 2 до 12 мм и нарезается на отрезки длиной от 10 до 100 мм. Заготовка проходит предварительный окислительный обжиг, после чего получается пористый фарфоровый остов, подлежащий пропитке в водных растворах декстрина. Следующим процессом технологии является высокотемпературный обжиг в восстановительной среде.

Факторами, позволяющими управлять электропроводностью дефаровых сопротивлений, являются: 1) концентрация декстрина в пропитывающем составе, 2) температура обжига, 3) среда обжига и 4) диаметр заготовки, определяющий диаметр ее пор.

Эти четыре фактора позволяют изменять сопротивление дефара от десятков ом до нескольких мегаом. На рис. 1 приведена зависимость сопротивления дефара от его габаритов и концентрации декстрина.

После высокотемпературного обжига на сопротивления наносит металлические электроды. Величина и стабильность сопротивления зависят от качества и площади контакта между металлом и полупроводящей керамикой. Металлизации могут быть подвергнуты или только торцы или торцы и прилегающие к ним полоски по боковой поверхности. Металлизацию можно осуществлять с помощью аппаратов Шоопта, Линника и Каца, а также гальванически. Наносить можно любой металл — алюминий, цинк, латунь, медь.

Дефар не боится пайки, и к оцинкованной или обмедленной части сопротивления можно непосредственно припаивать провод или колпачок. В ряде случаев контакт удобно сделать в виде никелевого или латунного хомутка, наложенного на слой металлизации. Непосредственно на керамику хомутки накладывать нельзя, так как сопротивление будет нестабильным. В тех случаях, когда металлизуются только торцы, необходимо учитывать прочность данного покрытия. При металлизации по способу Линника наименее прочным является покрытие латунью, наиболее прочен алюминий. Металлизованные сопротивления должны выдерживаться в течение 7—8 ч при температуре 120—130° С, чем достигается стабилизация величины сопротив-

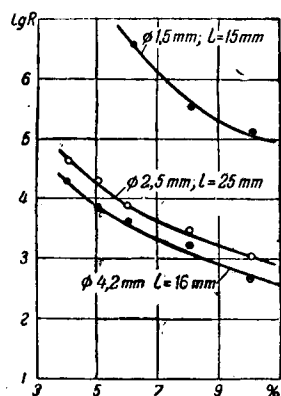


Рис. 1. Сопротивление дефара разного габарита в зависимости от содержания декстрина (%) в пропитывающем составе.

ления. Боковая поверхность дефара покрывается пленкой глифталевого лака 11-54. Если сопротивление армировано хомутиками, то лаком покрываются и торцы, и часть хомута, охватывающего тело сопротивления.

Внешний вид дефаровых сопротивлений показан на рис. 2.

Электрические свойства. Сопротивление дефара, измеренное при коротких импульсах, не вызывающих его нагрева, подчиняется закону Ома. Для подтверждения этого положения были проведены измерения в диапазоне напряженностей поля от сотых долей вольта на сантиметр до 4 кВ/см. При больших напряжениях сопротивление измерялось с помощью импульсных волн, длиной около 50 мкс. Ток и напряжение фиксировали с помощью катодного осциллографа с холодным катодом.

Номинальная мощность. Предельная мощность, которую сопротивление заданного размера может длительно рассеивать, устанавливается на основе следующего критерия: 1) температура, до которой разогревается сопротивление при заданных условиях теплоотдачи, не должна превышать определенного предела; 2) длительная работа при данном режиме не должна вызывать старения сопротивления.

Если ограничить температуру перегрева сопротивления над температурой окружающей среды (в комнатных условиях теплоотдачи) 50°C, то номинальная мощность для каждого габарита найдется по кривой зависимости температуры перегрева от поглощаемой сопротивлением мощности. Установленная таким образом номинальная мощность разработанных в настоящее время дефаровых сопротивлений представлена в табл. 1.

Таблица 1

Габариты и мощность сопротивлений дефар

| Диаметр, мм | Длина, мм | Номинальная мощность, W |
|-------------|-----------|-------------------------|
| 1,5 | 15 | 0,2 |
| 2,5 | 15 | 0,3 |
| 2,5 | 25 | 0,5 |
| 3,7 | 11 | 0,4 |
| 4,2 | 16 | 0,7 |
| 4,2 | 40 | 1,0 |

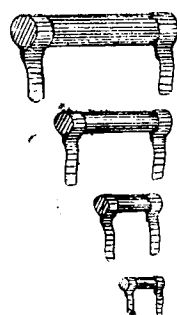


Рис. 2. Внешний вид дефаровых сопротивлений.

Исследование дефара на старение показало, что при нагрузке, не превышающей указанную в табл. 1, после нескольких сот часов работы величина сопротивления при комнатной температуре остается постоянной в пределах ошибок измерения. Напряжение, которое может быть длительно наложено на дефар, лимитируется только величиной развиваемой при этом мощности. Таких ограничений по напряжению, какие существуют для тонкопленочных сопротивлений, для дефара нет.

Температурный коэффициент. Сопротивление дефара падает с увеличением температуры. В большом диапазоне оно следует соотношению

$$R_t = R_0 e^{\frac{B}{T}} \quad (1)$$

Константа B зависит от удельного сопротивления материала и возрастает одновременно с R_0 .

В диапазоне температур от $20 \pm 5^\circ\text{C}$ до $70 \pm 5^\circ\text{C}$ зависимость сопротивления от температуры можно считать приближенно линейной и пользоваться формулой

$$R_t = R_0 (1 - \alpha \Delta t), \quad (2)$$

где Δt — разность температур между заданной и комнатной, а α — температурный коэффициент сопротивления. α дефара составляет величину порядка $2 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Зависимость температурного коэффициента от величины сопротивления материала изображена на рис. 3. По оси абсцисс отложены сопротивления R_{20} дефара данного габарита при температуре 20°C ; по оси ординат — значения α , вычисленные с помощью приближенной формулы (2) по экспериментальным значениям R_{20} и R_{70} . Из кривой рис. 3 следует, что по мере увеличения сопротивления материала α возрастает. Сопротивлениям порядка 10^5 и 10^6 соответствует α , равный $2,1 \cdot 10^{-3}$, а сопротивлениям порядка 10^3 — α около $1,7 \div 1,8 \cdot 10^{-3}$.

На рис. 4 представлена зависимость сопротивления от поглощаемой мощности. Габариты сопротивлений, к которым относятся данные кривые рис. 4, указаны в табл. 2. Как следует из рис. 4, сопротивление дефара, работающего при номинальной мощности, будет на 7—15% ниже, чем в том случае, когда поглощаемая им мощность не превышает 0,01 W. Соответствующее

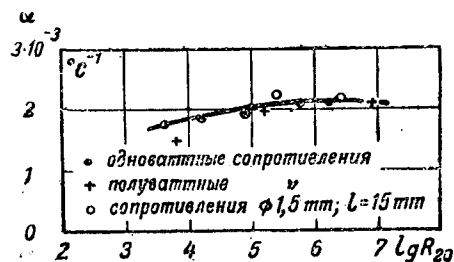


Рис. 3. Температурный коэффициент сопротивления дефара в зависимости от величины сопротивления материала

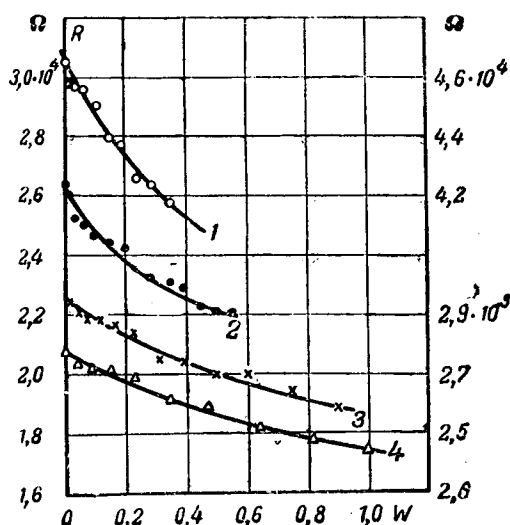


Рис. 4. Сопротивление дефара в зависимости от поглощаемой им мощности

кривая 1—диаметр сопротивления 1,5; $l=15$ мм; 2—3,5; $l=11$; 3—2,5; $l=25$; 4—4,2; $l=16$). Правая ось ординат для кривых 1, 4, левая—для 2, 3.

Таблица 2

Снижение сопротивления дефара R , определенного при 0,01 W, при нагрузке его номинальной мощностью.

| Кривые на рис. 4 | Габариты сопротивления | | Номинальная мощность, W | $\frac{\Delta R}{R}$, % |
|------------------|------------------------|-----------|-------------------------|--------------------------|
| | диаметр, мм | длина, мм | | |
| 1 | 1,5 | 15 | 0,2 | 6,7 |
| 2 | 3,7 | 11 | 0,4 | 14,6 |
| 3 | 2,5 | 25 | 0,5 | 11,1 |
| 4 | 4,2 | 16 | 0,7 | 9,7 |

процентное уменьшение R дается в той же табл. 2 (в процентах).

Для сопротивлений порядка 10^6 соответствующие значения $\frac{\Delta R}{R}$ для всех габаритов будут больше в соответствии со значениями α , приведенными на рис. 3. Величина температурного коэффициента дефара больше, чем у тонкопленочных сопротивлений. Вследствие этого у дефара больше и коэффициент нагрузки.

Импульсная нагрузочная способность. Импульсная пропускная способность дефара исследовалась применительно к условиям работы вентильных разрядников высших классов напряжения — 35, 110 и 220 kV.

Исследовались: 1) предельные величины импульсных напряжений, не связанных с большой мгновенной мощностью; 2) предельные значения мгновенной мощности (вольтамперы), которые не вызывают существенного старения или пробоя сопротивления. С этой целью сопротивления нагружались импульсными волнами напряжения длиной около 50 мкс различной амплитуды. Максимальное значение напряжения на испытуемом образце фиксировалось катодным осцилло-

графом [Л. 3]. Мгновенная мощность вычислялась как U^2/R , где U — измеренное осциллографом значение напряжения и R — сопротивление образца при низком напряжении.

Измерения были проведены на сопротивлениях диаметрами 2,5 и 4,2 мм. Для того, чтобы выяснить влияние на сопротивление импульсной нагрузки с увеличением числа импульсов, у группы полуваттных сопротивлений было проведено измерение R после каждых 10 импульсов. Некоторые из результатов исследования приведены в табл. 3.

Таблица 3

| U , kV _{max} | $\frac{U^2}{R}$ | R , $\Omega \cdot 10^4$ | Число импульсов | U , kV _{max} | $\frac{U^2}{R}$ | R , $\Omega \cdot 10^4$ | Число импульсов |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 0,54 | 17,2 | 1,69 | 0 | 4,15 | 1620 | 1,06 | 0 |
| | | 1,57 | 10 | | | 1,04 | 10 |
| | | 1,53 | 20 | | | 1,02 | 20 |
| | | 1,58 | 50 | | | 1,01 | 50 |
| 3,94 | 1260 | 1,23 | 0 | 6,56 | 2290 | 1,88 | 0 |
| | | 1,12 | 10 | | | 1,79 | 10 |
| | | 1,10 | 20 | | | 1,68 | 20 |
| | | 1,17 | 50 | | | 1,78 | 50 |

Из данных таблицы следует, что под действием импульсной волны, независимо от нагрузки, за первые 10—20 импульсов происходит уменьшение сопротивления приблизительно на 5—10%, остающееся затем в пределах ошибок измерения постоянным.

Таким образом, дефар, предназначенный для измерительных высоковольтных схем, должен проходить предварительную импульсную обработку, стабилизирующую величину его сопротивления. При работе в вентильных разрядниках наблюдаемое изменение R не является существенным.

Предельное значение мгновенной мощности определялось по изменению R дефара после 100-кратной нагрузки данной импульсной волной. Некоторые результаты испытаний приведены в табл. 4. Первые образцы представляли собою одноваттные, а последующие—полуваттные сопротивления.

Данные таблицы позволяют заключить, что одноваттные сопротивления выдерживают большую мгновенную импульсную нагрузку, чем полуваттные. Одноваттные сопротивления в пределах измерений не старятся вплоть до мгновенных нагрузок в 3000 VA. Наблюдаемое старение при больших нагрузках—до 50000 VA—не носит систематического характера: одна часть сопротивлений старится, другая часть ведет себя стабильно. Полуваттные сопротивления обнаруживают систематическое старение при мгновенной нагрузке, превышающей 2000 VA. Таким образом, 2000 VA являются предельно допустимым

Таблица 4

| Номинальная мощность сопротивлений, W | U_{max} , kV | Вольт-амперы U^2/R , VA | R_0, Ω | R_{100}, Ω | $\frac{\Delta R}{R_0}, \%$ | |
|---------------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-----|
| 1 | 15,8 | 72,5 | $3,42 \cdot 10^6$ | $3,45 \cdot 10^6$ | 0,9 | |
| | 15,8 | 157 | $1,58 \cdot 10^6$ | $1,59 \cdot 10^6$ | 0,6 | |
| | 14,9 | 398 | $5,73 \cdot 10^5$ | $5,73 \cdot 10^5$ | 0,0 | |
| | 14,9 | 1 240 | $1,78 \cdot 10^5$ | $1,81 \cdot 10^5$ | 1,7 | |
| | 12,92 | 4 090 | $4,08 \cdot 10^4$ | $5,04 \cdot 10^4$ | 23,3 | |
| | 13,65 | 26 200 | $7,1 \cdot 10^3$ | $6,4 \cdot 10^3$ | — 9,6 | |
| | 14,2 | 51 000 | $3,95 \cdot 10^3$ | $3,95 \cdot 10^3$ | 0,0 | |
| | 12,6 | 28 100 | $5,67 \cdot 10^3$ | $1,52 \cdot 10^4$ | 168 | |
| | 0,5 | 7,23 | 14,2 | $3,67 \cdot 10^6$ | $3,71 \cdot 10^6$ | 1,1 |
| | 6,14 | 227 | $1,66 \cdot 10^5$ | $1,62 \cdot 10^5$ | — 2,4 | |
| 7,03 | 573 | $8,63 \cdot 10^4$ | $8,81 \cdot 10^4$ | 2,0 | | |
| 3,80 | 1 035 | $1,39 \cdot 10^4$ | $1,22 \cdot 10^4$ | — 12 | | |
| 3,64 | 1 240 | $1,065 \cdot 10^4$ | $1,02 \cdot 10^4$ | — 4,2 | | |
| 2,24 | 1 850 | $2,70 \cdot 10^3$ | $2,44 \cdot 10^3$ | — 9,5 | | |
| 8,55 | 2 230 | $3,26 \cdot 10^4$ | $7,80 \cdot 10^4$ | 139 | | |
| 15,8 | 6 000 | $4,17 \cdot 10^4$ | $1,30 \cdot 10^4$ | 212 | | |
| 14,9 | 13 450 | $1,64 \cdot 10^4$ | $4,37 \cdot 10^4$ | 166 | | |
| 11,75 | 21 100 | $6,5 \cdot 10^3$ | $1,72 \cdot 10^4$ | 165 | | |

значением импульсной нагрузки полуваттных сопротивлений.

Градиент допустимого импульсного напряжения на дефаре составляет не менее 3 kV/cm у полуваттных и не менее 4 у одноваттных сопротивлений. Импульсное пробивное напряжение дефара пока не установлено. Одноваттные и полуваттные сопротивления дефар были опробованы в подстанционных разрядниках на 35 kV и генераторных на 3—6—10 kV. Полученные положительные результаты позволили применить дефар в вышеупомянутых конструкциях разрядников.

Стойкость к длительным перегрузкам. Поведение дефара под нагрузкой, не превышающей номинальной более, чем на 5%, иллюстрирует табл. 5. В первых двух колонках даны значения сопротивления и соответствующее этим значениям число часов, в течение которых сопротивление находилось под нагрузкой. В третьей колонке дано изменение сопротивления в процентах. Мы видим, что за 1 252 h работы величина

Таблица 5

Стойкость дефара при длительной номинальной нагрузке

| $R, \Omega \cdot 10^4$ | τ, h | $\frac{\Delta R}{R}, \%$ | $R, \Omega \cdot 10^4$ | τ, h | $\frac{\Delta R}{R}, \%$ |
|------------------------|-----------|--------------------------|------------------------|-----------|--------------------------|
| 9,20 | — | — | 9,30 | 278 | 1,09 |
| 9,88 | 62 | 1,6 | 9,45 | 393 | 2,72 |
| 9,30 | 159 | 1,09 | 9,42 | 460 | 2,39 |
| 9,20 | 191 | 0,0 | 9,41 | 1 252 | 2,28 |

Таблица 6

Перегрузочная способность дефара

| Диаметр, мм | Длина, мм | Номинальная мощность, W | Нагрузка в % к номинальной | Длительность нагрузки, h | Изменение сопротивления $\frac{\Delta R}{R}, \%$ |
|-------------|-----------|-------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| 4,2 | 16 | 0,7 | 108 | 41 | 0 |
| | | | 115 | 32 | 0 |
| | | | 140 | 64 | 3,1 |
| | | | 215 | 24 | 4,3 |
| | | | 147 | 53 | 1,2 |
| | | | 183 | 105 | 5,4 |
| 2,5 | 25 | 0,5 | 236 | 13 | 2,8 |
| | | | 140 | 49 | 6,4 |
| 1,5 | 25 | 0,35 | 134 | 52 | 3,5 |
| | | | 140 | 44 | 3,5 |
| 1,5 | 15 | 0,20 | 255 | 20 | 63 |
| | | | 218 | 105 | 5,0 |
| 4,2 | 40 | 1,0 | 218 | 105 | 5,0 |

сопротивления с точностью до 2—3% остается постоянной.

Из табл. 6, следует, что нагрузка порядка 150—180% от номинальной мощности за период 30—100 h дает изменение R , лежащее в пределах 3—6%. Стопроцентная перегрузка (215, 236, 218%) на 24, 13 и 105 h приводит к увеличению R на 4—5%. Таким образом, дефар допускает двукратную нагрузку в течение нескольких десятков часов. Нагрузка в 250% уже не допустима: за 20 h сопротивление увеличивается на 63%. Опыт показал, что такая перегрузка возможна только на 5 h.

Таблица 7

| Лаковое покрытие | Материал электрода | $\frac{\Delta R}{R}$ за 126 h, % | Примечание |
|--------------------|--------------------|----------------------------------|------------|
| Глифтал 11-54 | Алюминий | 1,72 | — |
| | Латунь | | |
| АФК-48 | Алюминий | 39 | — |
| АФК-48 | Латунь | 97,3 | |
| Маслянистая пленка | Алюминий | 15,9 | — |
| | Латунь | 33,2 | |
| Без покрытия | Алюминий | 107 | — |
| | Латунь | 304 | |
| То же | Алюминий | 47,2 | За 32,5 h |
| " " | Серебро | — 1,2 | За 33 h |

Стабильность во времени. Эксперименты, проведенные со свежизготовленными и хранившимися в течение многих часов в комнатных условиях лакированными сопротивлениями, показывают, что в среднем за 1 630 h R изменяется на 3,3%, а максимально на 4,6%; за 3 200 h среднее изменение составляет 2,7%, максимальное 6,1%. Нелакированные сопротивления старятся больше:

за 4 000 h они дают в среднем изменение на 6,7%; изменение же R за 1,5 года, зафиксированное только на двух сопротивлениях, составляет около 5%. Таким образом, стабильность дефара во времени укладывается в принятые для сопротивлений нормы.

Стойкость по отношению к озону при повышенной температуре. Методика испытаний стойкости дефара по отношению к озону состояла в следующем: под стеклянный колокол диаметром 200 и высотой 250 мм, поставленный на резиновое основание, вводились: 1) электроды игла — плоскость для получения искры, генерирующей озон; 2) нагревательная спираль; 3) столбик с дефаровыми сопротивлениями диаметром 4,2 и длиной 16 мм и 4) термopара, расположенная непосредственно под образцами.

Температура под колоколом составляла 160—165°С. Между электродами создавалась непрерывная искра, и в течение 8—9 h образцы находились в интенсивной атмосфере озона, после чего они вынимались, охлаждались и их сопротивление измеряли на мосте Томсона. Торцевые поверхности испытуемых сопротивлений были металлизированы у одной части алюминием, у другой латунью и у третьей — серебром¹. В условиях опыта происходила интенсивная коррозия металла электрода (и других металлических частей, находившихся под колоколом). Поэтому перед измерением электроды приходилось каждый раз зачищать. Отдельные колебания в величине сопротивления, не носящие систематического характера, нужно отнестись за счет плохо очищенного слоя коррозии.

Кроме нормальных дефаровых сопротивлений (дефар, покрытый глифталевым лаком 11-54), были испытаны дефаровые сопротивления без покрытий, с защитной пленкой из лака ВЭИ АФК-48, и сопротивления, покрытые маслянистой пленкой, получаемой при погружении дефара в смесь трансформаторного масла с бензином.

Результаты испытаний при описанных выше условиях сопротивлений, металлизированных латунью, показывают, что в то время как дефар, покрытый глифталевым лаком, ведет себя совершенно устойчиво, у дефара с защитной пленкой из лака АФК-48 сопротивление систематически возрастает на 27% за 80 h и на 113% за 126 h.

Основное увеличение сопротивления дефара происходит при окислении слоев, расположенных на торцах под слоем металла.

Результаты, приведенные в табл. 7, следует объяснить тем, что алюминий дает более плотный слой, чем латунь, что и препятствует проникновению озона к дефару. Поэтому сопротивление изменяется меньше, когда электроды покрыты алюминием. Еще более плотную пленку дает серебро, но так как серебряная пленка очень тонка, — она легко повреждается механически.

¹ Серебрение проводилось с помощью серебряной пасты по методу Н. П. Богородицкого.

Таблица 8

Влагостойкость дефара

| R_0 до эксика- тора, $\Omega \cdot 10^3$ | R после 100 h пребы- вания в атмосфере 100% относительной влажности, $\Omega \cdot 10^3$ | $\frac{\Delta R}{R}$, % | Примечание |
|---|---|-----------------------------|---------------------|
| 8,94 | 8,94 | 0 | Лакирован- ные |
| 9,58 | 9,4 | -1,88 | |
| 8,25 | 8,25 | 0 | |
| 8,10 | 7,9 | -2,47 | Нелакиро- ванные |
| 1 490 | 1 500 | 0,81 | |
| 380 | 378 | -0,53 | |
| 25,3 | 25,4 | 0,4 | |

Для работы в интенсивной атмосфере озона при повышенной температуре пригоден только дефар, покрытый глифталевым лаком. В случае атмосферы с малой концентрацией озона может быть также использован дефар, покрытый пленкой трансформаторного масла.

Влагостойкость. Дефар, как плотно спеченая керамика, влагостоек, как это и следует из данных табл. 8. Изменения сопротивлений, выдержавшихся при испытаниях в эксикаторе над водой в течение 100 h, лежат в пределах ошибок измерений.

Заключение. Новое сопротивление дефара обладает следующими свойствами:

1. Температурный коэффициент сопротивления составляет $1,5 \cdot 10^{-3} \div 2,1 \cdot 10^{-3}$, в зависимости от величины удельного сопротивления.

2. Дефар не имеет ограничений по величине допустимого напряжения, кроме ограничений, накладываемых величиной развиваемой при этом мощности.

3. Импульсная нагрузочная способность дефара у полуваттных сопротивлений составляет 2 000 VA, у одноваттных сопротивлений не менее 3 000 VA. Допустимый импульсный градиент напряжения составляет не менее 4 kV/см.

4. Дефар допускает нагрузку в 180—200% от номинальной мощности в течение 50—100 h. При этом изменение сопротивления не превышает приблизительно 5%.

5. Сопротивления могут не менее 100 h работать в атмосфере озона при температуре 160°С.

6. Дефаровые сопротивления стабильны во времени и влагостойки.

7. Дефаровые сопротивления допускают пайку третником и оловом в любой части поверхности электрода

Литература

1. Meuser. Z. f. techn. Phys., 16, 356, 1935.
2. В. И. Пружинина-Грановская. Керамические реостаты и сопротивления. Журнал технич. физики, т. XIV, вып. 7—8, 438, 1944.
3. Л. И. Иванов и А. С. Нуждина. Замечания к измерениям с помощью катодного осциллографа. Сборник „Вентильные разрядники“, Госэнергоиздат, 1941.



Конструирование и расчет мощных высокочастотных конденсаторов

Доктор техн. наук, проф. Н. П. БОГОРОДИЦКИЙ и инж. И. Д. ФРИДБЕРГ

Ленинград

В современной технике применяются разнообразные типы электрических конденсаторов. Характеристики конденсатора определяются как электрическими свойствами диэлектрика, так и конструктивным оформлением, которое, в свою очередь, зависит от физических и механических свойств диэлектрика. Таким образом, свойства диэлектрика предопределяют область применения данного конденсатора.

Нельзя указать ни одного материала, который был бы универсальным как диэлектрик для любого типа конденсатора.

Бумажные и электролитические, а частично и стеклянные конденсаторы могут быть использованы только при постоянном напряжении и переменном напряжении низких частот.

Слюдяные конденсаторы могут быть получены в очень широком диапазоне по емкости. Они с большим успехом применяются там, где используются их очень высокие электрические свойства (малый угол потерь и стабильность), т. е. в радиотехнике и в измерительных схемах.

В последнее время приобретают все большее распространение керамические конденсаторы.

Развитие в СССР специальной конденсаторной керамики, выявило большие преимущества керамических конденсаторов сравнительно с другими типами высокочастотных конденсаторов. Керамика может быть получена как с небольшой диэлектрической проницаемостью ϵ , так и с чрезвычайно высоким значением ϵ — до 100 и даже до 10 000. Диэлектрические потери некоторых типов керамических конденсаторов исключительно малы и не превышают потери слюдяных и даже кварцевых конденсаторов. Температурный коэффициент емкости керамических конденсаторов может быть не только положительным, но и отрицательным, а также близким к нулю. Емкость керамических конденсаторов с течением

Рассмотрены требования к диэлектрику и конфигурации высокочастотных конденсаторов с большой реактивной мощностью (для радиопередатчиков, электропечных установок и т. п.). Показаны преимущества использования для этих конденсаторов специальных керамических материалов. Описаны разработанные в СССР типы керамических конденсаторов и даны основные формулы для расчета их. Намечены пути дальнейшего развития мощных керамических конденсаторов. Статья является изложением доклада авторов на XXIX пленуме Всесоюзного бюро электрической изоляции в июне 1946 г.

времени практически не изменяется.

По конструктивным возможностям керамика позволяет получение конденсаторов для самых различных назначений. Благодаря доступности сырья и удобной технологии обеспечивается массо-

вость производства; в этом отношении перспектива развития высокочастотных конденсаторов принадлежит именно керамике, а не дефицитной слюде или требующему труднейшей технологии кварцу. Рассмотрим основные принципы проектирования и расчета мощных высоковольтных керамических конденсаторов.

Благодаря возможности выбора керамики с очень большой ϵ лишь в редких случаях возникают затруднения в обеспечении нужной емкости.

Габаритные размеры конденсаторов в первую очередь определяются диэлектрическими потерями материала и при высоких напряжениях величиной разрядного напряжения по поверхности диэлектрика. Можно предположить, что диэлектрик с максимальной удельной реактивной мощностью (т. е. мощностью, отнесенной к единице объема материала) является наиболее выгодным. Однако, при высоких напряжениях высокой частоты важнейшее значение приобретают не только электрические характеристики диэлектрика, но и сама конфигурация конденсатора. В зависимости от последней изменяется величина активной охлаждающей поверхности конденсатора, рассеивающей выделяющееся в нем тепло. Конфигурация также влияет на величину разрядного напряжения. До последнего времени в нашей и зарубежной технике выпускались конденсаторы в виде горшков, трубок и дисков. С точки зрения активной поверхности наилучшим является дисковый конденсатор, а с точки зрения поверхностного разряда — горшковый. Трубочатый тип уступает горшковому по напряжению перекрытия, а дисковому — по активной поверхности; зато преимущество трубки состоит в наиболее простой технологии изготовле-

Таблица 1

Характеристика горшковых конденсаторов

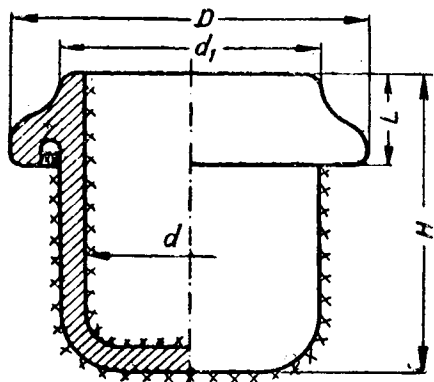
| Материал | Размеры, мм (по рис. 1.) | | | | | Электрические характеристики | | | | Основное назначение |
|-----------------------------------|--------------------------|-----|----------------|-----|----|------------------------------|--------------------------|--|--|---|
| | H | D | d ₁ | d | l | Емкость, pF | Реактивная мощность, кВА | Максимальное напряжение высокой частоты, кV _{eff} | Испытательное напряжение 50 Hz кV _{eff} | |
| Ультрафарфор δ = 3' ε = 7,0 | 150 | 215 | 170 | 156 | 56 | 600 | 60 | 10 | 30 | Контурные конденсаторы большой мощности |
| | 140 | 65 | 50 | 25 | 45 | 60 | 15 | 20 | 40 | |
| Тиконд 40 δ = 3' ε = 40 | 140 | 65 | 50 | 30 | 45 | 500 | 10 | 6 | 15 | Блокировочные конденсаторы |
| Радиофарфор δ = 10' ε = 6,5 | 150 | 215 | 170 | 156 | 56 | 500 | 15 | 10 | 30 | Блокировочные конденсаторы |
| | 200 | 230 | 205 | 190 | 60 | 1 000 | 25 | 10 | 30 | |

Таблица 2

Характеристики дисковых конденсаторов

| Материал | Размеры, мм (по рис. 2) | | | | Электрические характеристики | | | | Основное назначение |
|-------------------------------------|-------------------------|----|-------|-----|------------------------------|--------------------------|--|---|--|
| | D | H | d | h | Емкость в pF | Реактивная мощность, кВА | Максимальное напряжение высокой частоты, кV _{eff} | Испытательное напряжение 50 Hz, кV _{eff} | |
| Тиконд δ = 3' ε = 40 | 131,5 | 10 | 88 | 6 | 600 | 10 | 3,5 | 10 | Контурные и блокировочные конденсаторы |
| | 131,5 | 18 | 111,5 | 4,5 | 1 100 | 10 | 2,5 | 10 | |
| Ультрафарфор δ = 3,0' ε = 7,0 | 120 | 10 | 84 | 4,3 | 150 | 15 | 8,0 | 16 | Контурные конденсаторы |
| | 120 | 8 | 110 | 2,5 | 300 | 15 | 5,0 | 10 | |

ния. В самое последнее время за границей и в Союзе появился новый тип конденсатора, так называемый шаровой или боченочный. Этот конденсатор при чрезвычайно малых размерах дает очень высокое значение напряжения поверхности разряда.

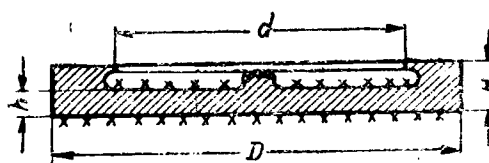


x x x - серебрить

Рис. 1.

На заводе, руководимом М. А. Спицыным, а также в институте, руководимом Н. Д. Горбуновым, выпускаются высоковольтные высокочастотные конденсаторы названных выше типов. В табл. 1—4 даны их основные характеристики; эскизы этих конденсаторов представлены на рис. 1—4.

Данные таблиц подтверждают, что материал используется наилучшим образом в случае боченочного конденсатора. Здесь благодаря сглаживанию напряженности электрического поля у краев электродов совершенно не требуется до-



x x x - серебрить

Рис. 2.

Таблица 3

Характеристики трубчатых конденсаторов

| Материал | Тип | Размеры, мм (по рис. 3) | | | | | Электрические характеристики | | | | Основное назначение |
|---|-----|-------------------------|----|----|----|----|------------------------------|--------------------------|---|--|--|
| | | H | D | h | L | d | Емкость, pF | Реактивная мощность, kVA | Максимальное напряжение высокой частоты, kV eff | Испытательное напряжение 50 Hz, kV eff | |
| Ультрафарфор $\delta = 1,5 \div 3$ $\epsilon = 7,0$ | I | 170 | 40 | 53 | 14 | 27 | 50/200 | 15 | 10/5 | 20/10 | Контурные конденсаторы большой мощности и анодно-разделительные конденсаторы |
| | II | 180 | 55 | 78 | 44 | 29 | 75 | 10 | 10 | 20 | |
| | II | 180 | 55 | 78 | 44 | 29 | 100 | 12 | 8 | 16 | |
| | II | 180 | 55 | 78 | 44 | 29 | 150 | 15 | 7 | 14 | |
| | III | 60 | 50 | 40 | 10 | 24 | 75 | 5 | 5 | 10 | |
| | III | 45 | 50 | 25 | 10 | 24 | 50 | 3 | 5 | 10 | |

Таблица 4

Характеристики боюочных конденсаторов

| Материал | Размеры, мм (по рис. 4) | | | Электрические характеристики | | | | Основное назначение |
|---|-------------------------|----|----|------------------------------|--------------------------|---|--|---------------------------------------|
| | H | D | d | Емкость, pF | Реактивная мощность, kVA | Максимальное напряжение высокой частоты, kV eff | Испытательное напряжение 50 Hz, kV eff | |
| Тиконд $\delta = 2'$ $\epsilon = 60$ | 15 | 20 | 15 | 10 | 4 | 6 | 12 | Контурные высоковольтные конденсаторы |
| | 15 | 25 | 20 | 30 | 4 | 7 | 14 | |
| | 20 | 35 | 26 | 60 | 8 | 10 | 20 | |
| Ультрафарфор $\delta = 3'$ $\epsilon = 7,0$ | 15 | 20 | 10 | 1,5-3 | 3 | 12 | 25 | |

полнительных поверхностей для увеличения разрядных напряжений, и вся поверхность конденсатора является активной в отношении охлаждения, в то время как в трубчатом конденсаторе около 40% поверхности не используется для теплоотвода и служит только для повышения разрядного напряжения. Шаровые конденсаторы выгодны при материале с малыми потерями и большой ϵ ; тогда в одной единице может быть получена значительная реактивная мощность.

При напряжениях высокой частоты выше 15 kV шаровые конденсаторы опять теряют свое преимущество из-за необходимости увеличения неактивной поверхности. Наконец, ввиду того, что электрическое поле на поверхности боюочного конденсатора относительно однородно, всевозможные загрязнения поверхности резко снижают величину разрядного напряжения, тогда как в случае, например, трубчатых конденсаторов загрязнения сказываются мало.

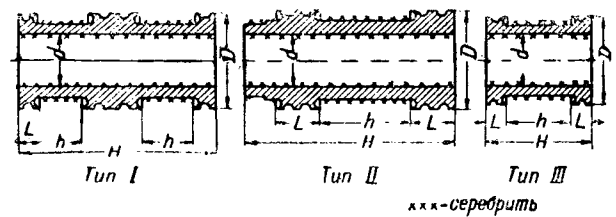


Рис. 3.

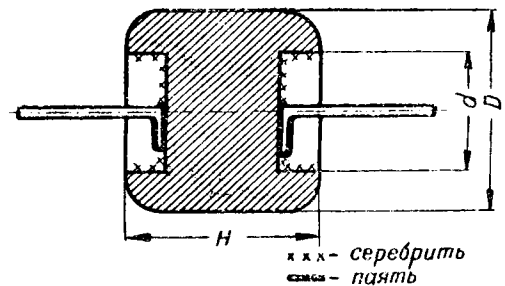


Рис. 4.

Толщина стенки конденсатора Δ определяется из формулы, которая выводится из условия баланса выделяющегося и рассеиваемого тепла [Л. 3]:

$$\Delta = kU^2 f \epsilon \operatorname{tg} \delta \frac{1}{9 \cdot 10^{11}}, \quad (1)$$

где U —эффективное значение напряжения; f —частота; ϵ —диэлектрическая проницаемость; δ —угол потерь диэлектрика. Коэффициент k в свою очередь зависит от допустимого перегрева t поверхности конденсатора по отношению к температуре окружающей среды, от коэффициента теплоотдачи σ и от конфигурации конденсатора и определяется уравнением

$$k = \frac{1}{2k't\sigma}. \quad (2)$$

Значение σ для нормальных условий в среднем может быть принято равным $0,001 \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. При искусственном охлаждении σ сильно возрастает—в 3—4 раза при обдувании воздухом и в

20—30 раз—при водяном охлаждении конденсатора. В последнем случае в расчете должна быть учтена теплопроводность диэлектрика, которая становится сравнимой с поверхностной теплоотдачей. Рабочая температура конденсатора, исходя из его термической стойкости, не должна превышать 90—100°C. Коэффициент k' , характеризующий конфигурацию конденсатора, имеет значение: для горшкового конденсатора 1, трубчатого—1,5, дискового—2 и боченочного до 5.

Если рассматривать разные материалы при одной и той же конфигурации конденсатора, выражение для удельной реактивной мощности высокочастотного конденсатора может быть представлено в следующем виде:

$$P_v = \frac{U^2 f \epsilon}{2 \Delta^3} = \frac{9 \cdot 10^{11}}{2 k^2 U^2 f \epsilon \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (3)$$

Анализируя выражение (3), можно видеть, что при малых напряжениях и низких частотах необходимо применять массу с повышенным значением ϵ , чтобы обеспечить не слишком тонкую стенку конденсатора. Напротив, при очень высоких напряжениях и коротких волнах следует использовать керамику с малым значением ϵ , чтобы не получить слишком толстую стенку. Ничтожно малое значение $\operatorname{tg} \delta$ материала даже и в последнем случае позволяет при высокой диэлектрической проницаемости иметь приемлемую толщину стенки конденсатора.

Уравнение (3) показывает, что удельная реактивная мощность конденсатора при заданных напряжении и частоте в сильнейшей степени зависит от диэлектрических потерь и конфигурации. Возрастание ϵ приводит к снижению удельной мощности, однако это не значит, что уменьшение ϵ всегда приводит к увеличению удельной мощности, так как при малой ϵ необходимо применять очень тонкие стенки; это, с одной стороны, может быть нереально по технологическим соображениям, а с другой стороны, может привести к изменению конфигурации (например, боченочный тип превращается в дисковый), что сказывается на величине теплоотдачи.

Величина внешней поверхности конденсатора, при прочих равных условиях, определяется только углом потерь материала. В табл. 5 показаны пределы изменения характеристик конденсаторов для различных диэлектриков и конфигураций.

Из табл. 5 видно, что эффективное использование материала связано с выбором конфигурации конденсатора. При высоких напряжениях и длинных волнах трубчатый конденсатор наиболее целесообразно изготовлять из ультрафарфора с углом потерь около 1,5' или тиконда с углом потерь около 0,3'.

Тиконд с углом потерь более 1' может быть удачно использован для трубчатых конденсаторов при низких напряжениях и длинных волнах, как это следует из формулы (3); но при высоких напряжениях и длинных волнах он для трубчатых конденсаторов не пригоден. Боченоч-

Таблица 5
Сравнительные характеристики конденсаторов
(для напряжения 10 кВ при $2 \cdot 10^5$ Hz) разной
конфигурации

| Конфигурация конденсатора | Диэлектрик | Угол потерь δ в минутах | Диэлектрическая проницаемость ϵ | Толщина стенки, мм | Удельная реактивная мощность P_v , ВА/см ³ | Емкость единицы поверхности C_p /см ² |
|---------------------------|--------------|--------------------------------|--|--------------------|---|--|
| Трубчатый | Ультрафарфор | 3 | 7 | 10 | 70 | 0,62 |
| | | 1,5 | 7 | 5 | 280 | 1,24 |
| | | 0,5 | 7 | 1,7 | 2 500 | 3,72 |
| Боченочный | Ультрафарфор | 3 | 70 | 100 | 7 | 0,62 |
| | | 0,3 | 70 | 10 | 700 | 6,2 |
| | | 3 | 7 | 3,3 | 780 | 1,86 |
| | Тиконд | 0,5 | 7 | 0,55 | 28 000 | 11,2 |
| | | 3 | 70 | 33 | 78 | 1,86 |
| | | 0,3 | 70 | 3,3 | 7 800 | 18,6 |

ный конденсатор при данных условиях наиболее выгодно изготовлять из тиконда с очень малыми потерями (δ около 0,5'). Боченочный конденсатор из ультрафарфора при указанных электрических характеристиках совсем не приемлем из-за очень тонкой стенки в связи с малой ϵ . Напротив, при коротких волнах и высоких напряжениях боченочные конденсаторы нужно делать из керамики с низкой ϵ и очень малыми потерями. Очевидно, боченочный конденсатор целесообразен при очень малых потерях, когда в единице можно сосредоточить большую реактивную мощность.

Вновь созданная титано-баритовая керамика с сверхвысокой диэлектрической постоянной [Л. 4] характеризуется повышенным значением угла диэлектрических потерь и, несмотря на высокую ϵ , не может быть использована для мощных высокочастотных конденсаторов.

Электропромышленность СССР должна располагать всевозможными керамическими конденсаторными материалами, чтобы можно было для конденсатора каждого назначения выбрать наиболее выгодный вариант. Сейчас особо актуально расширение производства высокочастотных высоковольтных конденсаторов из ультрафарфора и тиконда, уже проверенных в ряде применений, в колебательных контурах высокочастотных печей, в мощных радиопередатчиках и т. д.

Литература

1. В. П. Вологдин. Заявочное свидетельство № 80 1(3)/Ш, 20 декабря 1930.
2. Богородицкий И. Твердый изолирующий материал с большой диэлектрической постоянной. Электричество, № 9, 1935.
3. Н. П. Богородицкий и И. Д. Фридрих. Методы расчета рабочих напряжений высоковольтных высокочастотных изоляторов. Научно-технический бюллетень НКЭП, № 39, 1940.
4. Б. М. Бул. Вещества с высокой и сверхвысокой диэлектрической проницаемостью. Электричество, № 3, 1946.



Обобщенный метод расчета потокораспределения мощностей в сложных цепях

Кандидат техн. наук Х. Ф. ФАЗЫЛОВ

Энергетический институт Академии наук Узбекской ССР

Уточнение методов расчета сетей в свете требования рационального потокораспределения мощностей в сетях электроэнергетических систем в настоящее время приобретает актуальный характер. В первую очередь это относится к сетям, контуры которых имеют неуравновешенную э. д. с. с наличием трансформационных соотношений между звеньями цепи. Практика расчета таких сетей встречает ряд затруднений, связанных с отсутствием стройно разработанной методологии этого вопроса. Затруднения чрезвычайно выпукло обнаруживаются в случаях, когда контуры содержат в себе фазорегулирующие трансформаторы.

Обобщенный метод, пригодный для задачи любой сложности, можно получить, исходя из уравнений узловых напряжений, на базе последовательного применения уравнений четырехполюсника для всех звеньев цепи без исключения.

С этой целью, прежде всего, установим обобщенные постоянные отдельных элементов цепи. Для каждого звена цепи, рассматривая его как четырехполюсник, можно написать:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2, \end{aligned} \quad (1)$$

отсюда токи и мощности в начале и в конце звена цепи соответственно будут (приложение 1):

$$\dot{I}_1 = \frac{(B\dot{C} - A\dot{D})\dot{U}_2 + D\dot{U}_1}{B} = \frac{-e^{j2\theta}\dot{U}_2 + D\dot{U}_1}{B} \quad (2)$$

$$\dot{P}_1 = \frac{-c^{j2\theta}\dot{U}_2\hat{U}_1 + D\dot{U}_1^2}{B}, \quad (2a)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_1 - A\dot{U}_2}{B}, \quad (3)$$

$$\dot{P}_2 = \frac{\dot{U}_1\hat{U}_2 - A\dot{U}_2^2}{B}. \quad (3a)$$

Для линии электропередачи значения \dot{A} , \dot{B} , \dot{C} , \dot{D} с любой заданной точностью определяются

Показано, что принципиально точный обобщенный метод расчета потокораспределения мощностей, пригодный для задачи любой сложности, можно обосновать, исходя из уравнений узловых напряжений путем последовательного применения уравнения четырехполюсника для всех звеньев цепи без исключения. Обобщенный метод может служить основой для развития практических методов расчета с возможной оценкой погрешности.

обычными способами, известными в литературе.

Для трансформатора, пренебрегая намагничивающим током, из опытов холостого хода и короткого замыкания, можем прийти к выводу, что

$$\begin{aligned} \dot{A} &= \frac{\dot{U}_{10}}{\dot{U}_2} = k_{12}, \quad \dot{B} = \frac{Z}{k_{12}}, \\ \dot{D} &= \frac{1}{k_{12}} = k_{21}, \quad \dot{C} = 0, \end{aligned}$$

где Z — сопротивление трансформатора, отнесенное к напряжению направления обхода, в нашем случае к U_1 ; k_{12} — коэффициент трансформации трансформатора по направлению его обхода.

В такой форме записи постоянные применимы только для трансформаторов с одинаковыми соединениями обмоток. В случае разного соединения обмоток все постоянные будут содержать множитель поворота $e^{j\theta}$ и являются комплексами без исключения. Например для Δ/∇ и ∇/Δ этот множитель соответственно будет e^{j30° и e^{-j30° .

Можно было бы точно установить значение всех постоянных трансформатора, не пренебрегая намагничивающим током. При этом пришлось бы, однако, пожертвовать простотой и наглядностью этих постоянных. Но все же при необходимости уточнения этих постоянных удобнее всего исходить из Γ (или перевернутой Γ)-образной схемы замещения трансформатора, рассматривая ее как последовательное включение двух четырехполюсников. Например, для схемы рис. 1, где

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}_1 = \dot{D}_1 = 1, \quad \dot{C}_1 = Y_1, \quad \dot{B}_1 = 0, \\ \dot{A}_2 = k, \quad \dot{D}_2 = \frac{1}{k}, \quad \dot{C}_2 = 0, \quad \dot{B}_2 = \frac{Z_2}{k}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

выражения обобщенных постоянных всей схемы будут:

$$\dot{A} = k, \quad \dot{B} = \frac{Z}{k}, \quad \dot{D} = \frac{1 + Y_1 Z_2}{k}, \quad \dot{C} = Y_1 k. \quad (5)$$

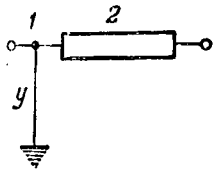


Рис. 1. Г-образная схема замещения трансформатора.

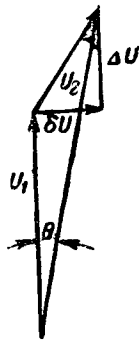


Рис. 2. Векторная диаграмма напряжения продольно-поперечно регулирующего трансформатора.

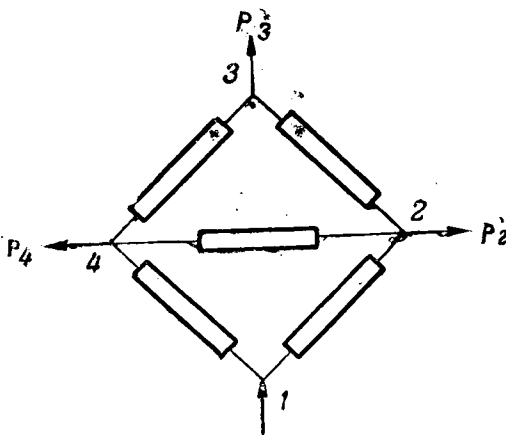


Рис. 3. Двухкратно-замкнутая цепь, составленная из четырехполюсников.

Постоянные бустер-трансформатора в общем случае с независимым продольно-поперечным регулированием (ΔU и δU), для которого векторная диаграмма напряжения приведена на рис. 2 (без учета потерь его холостого хода), могут быть записаны так:

$$\dot{A} = k_{12} e^{j\theta}, \quad \dot{B} = k_{12} Z e^{j\theta}, \quad \dot{D} = \frac{e^{j\theta}}{k_{12}}, \quad \dot{C} = 0, \quad (6)$$

где

$$k_{12} = \frac{|U_{13}|}{|U_2|},$$

θ — фазный угол между напряжениями \dot{U}_1 и \dot{U}_2 при холостом ходе бустер-трансформатора (знак этого угла зависит от дополнительной э. д. с. $U_1 U_2$); Z — сопротивление бустер-трансформатора, отнесенное к его линейной (серийной) обмотке.

Учет проводимости бустер-трансформатора можно осуществить способом, указанным выше.

Теперь перейдем к форме записи уравнений узловых напряжений для сложной цепи, определяющих ее стационарный режим. Пусть задана двухкратно замкнутая сеть с источником покрытия потерь в точке 1 (рис. 3). Предполагая, что любой узел или нагрузочный пункт питается от примыкающих к ним узлов и нагрузочных

пунктов, напишем для них условия баланса токов. Для узла 2

$$\frac{\dot{U}_1 - \dot{A}_{12} \dot{U}_2}{\dot{B}_{12}} + \frac{\dot{U}_3 - \dot{A}_{32} \dot{U}_2}{\dot{B}_{32}} - \frac{\dot{U}_1 - \dot{A}_{42} \dot{U}_2}{\dot{B}_{42}} = \frac{\dot{P}_2}{\hat{U}_2}. \quad (7)$$

Для нагрузочного пункта 3 и для узла 4 соответственно

$$\frac{\dot{U}_2 - \dot{A}_{23} \dot{U}_3}{\dot{B}_{23}} + \frac{\dot{U}_4 - \dot{A}_{43} \dot{U}_3}{\dot{B}_{43}} = \frac{\dot{P}_3}{\hat{U}_3}, \quad (8)$$

$$\frac{\dot{U}_1 - \dot{A}_{14} \dot{U}_4}{\dot{B}_{14}} + \frac{\dot{U}_2 - \dot{A}_{24} \dot{U}_4}{\dot{B}_{24}} - \frac{\dot{U}_3 - \dot{A}_{34} \dot{U}_4}{\dot{B}_{34}} = \frac{\dot{P}_4}{\hat{U}_4}. \quad (9)$$

В этих формулах постоянные \dot{A} и \dot{B} берутся в исходном направлении токов. Само собой разумеется, при отсутствии трансформационных соотношений в ветвях форма записи уравнений сильно упрощается.

Предыдущие уравнения соответственно можно переписать в такой краткой форме:

$$Y_{12} \dot{U}_1 - Y_{22} \dot{U}_2 + Y_{32} \dot{U}_3 + Y_{42} \dot{U}_4 = \frac{\dot{P}_2}{\hat{U}_2}, \quad (7a)$$

$$Y_{13} \dot{U}_1 + Y_{23} \dot{U}_2 - Y_{33} \dot{U}_3 + Y_{43} \dot{U}_4 = \frac{\dot{P}_3}{\hat{U}_3}, \quad (8a)$$

$$Y_{14} \dot{U}_1 + Y_{24} \dot{U}_2 + Y_{34} \dot{U}_3 - Y_{44} \dot{U}_4 = \frac{\dot{P}_4}{\hat{U}_4}. \quad (9a)$$

Обобщение этих уравнений для случая n узлов является очевидным. Уравнения в матричной форме переписутся так:

$$Y_{nm} \dot{U}_n = \frac{\dot{P}_m}{\hat{U}_m}. \quad (10)$$

К этому же выводу можно было прийти, задавшись предварительно произвольным направлением токов в ветвях.

Попутно отметим, что в общем случае при наличии трансформационных соотношений, характеризующихся углом θ , взаимные проводимости (а равно и взаимные сопротивления) не равны друг другу ($Y_{mn} \neq Y_{nm}$), т. е. закон взаимности Максвелла в общем случае теряет свою силу.

При окончательной записи уравнений узловых напряжений для той или иной сети проделывать все промежуточные выводы до формы (10) нет необходимости. Правило для непосредственной записи значений Y_{mn} весьма простое.

Таким образом для определения n неизвестных напряжений будет составлена $n - 1$ уравнений в форме записи (10). Задавшись, как обычно, одним из значений опорного напряжения, можно определить значения всех остальных напряжений, что дает возможность установить токи и мощности в любой точке сети.

Следовательно, задача определения напряжений узлов и мощностей в ветвях требует в общем случае решения системы квадратичных

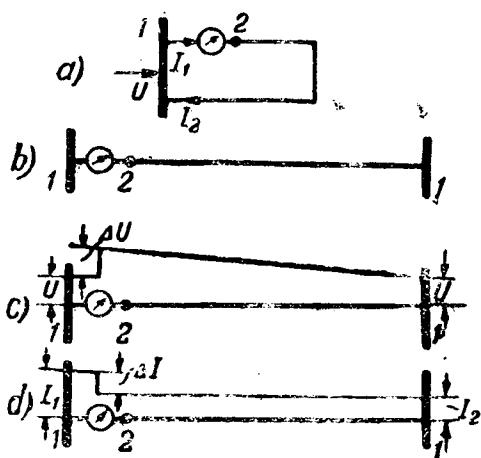


Рис. 5. Циркуляция уравнительной мощности в контуре.

a — схема контура; *b* — развертка контура; *c* и *d* — эпюры напряжения и тока.

обычно вопрос, по какому направлению такое приведение необходимо осуществить. Это делает задачу неоднозначной. Разумеется, обход контура для подсчета значения \dot{B} необходимо совершить от той точки контура, напряжение которой выбрано за опорное.

Значение \dot{B} в данном случае (в контуре нет фазорегулирующего элемента $\theta = 0$) не зависит от направлений обхода. Что касается значения \dot{A} , то оно зависит от направления обхода, что приводит к неоднозначности уравнительной мощности в контуре.

Факту существования разных значений мощности в зависимости от направления обхода можно дать простое физическое истолкование. Для этого обратимся к схеме *a* контура рис. 5, которая при разобранной нижней ветви у шин 1 представлена схемой *b* рис. 5. Предположим, что добавочный трансформатор по направлению 1—2 является повышающим. Эпюры напряжения и токов по контуру изображают рис. 5, *c* и 5, *d*. Уравнительное напряжение ΔU теряется по контуру, а ток ΔI , который поступает из сети, является током вынужденного режима трансформатора. По своей природе этот ток может быть назван током возбуждения контура. Отсюда видно, что мощности в начале и в конце обхода контура различны из-за дополнительной мощности, поступающей из сети и идущей на покрытие потерь, связанных с циркуляцией уравнительной мощности.

Таким образом, понятие уравнительной мощности, подсчитываемой с той или иной ошибкой существующими методами, до сих пор осталось несформулированным четко.

В большинстве случаев задача определения потокораспределения мощностей преследует установление напряжений узлов системы при заданных режимах нагрузок. Для этой цели в предлагаемом нами методе предварительный этап определения приближенного значения распределения мощностей отпадает.

Препятствием к широкому практическому применению данного метода является громоздкость вычислений, связанная в основном с переходом от форм уравнений (10) к (11а). Если бы удалось осуществить непосредственный подсчет значений коэффициентов \dot{a} и \dot{b} в уравнениях (11а) с меньшей затратой времени, то данный метод получил бы самостоятельное широкое практическое значение для расчетов режимов.

В заключение следует отметить, что все существующие практические методы расчета сетей могут быть получены из основных уравнений узловых напряжений предлагаемого в данной статье обобщенного метода.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОБОБЩЕННОЕ СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПОСТОЯННЫМИ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

Зависимость между токами и напряжениями на входных и выходных зажимах четырехполюсника, как известно, выражается формулами:

$$\dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2,$$

$$\dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2.$$

Обычно утверждают, что постоянные четырехполюсника связаны соотношением

$$A\dot{D} - B\dot{C} = 1. \tag{1}$$

Однако, как будет показано ниже, такое утверждение справедливо лишь при существенном ограничении. С целью вскрытия этого ограничения обратимся к выводу обобщенных постоянных устройств, регулирующих величину и фазу напряжения сети. В качестве примера рассмотрим принципиальную схему поперечного добавочного трансформатора, приведенную на рис. 6.

В режиме холостого хода, согласно обозначениям рис. 6, напряжение на первичных зажимах трансформатора для фазы *a*

$$\dot{U}_{10}^a = \dot{U}_2^a + j\omega M \dot{I}_{\Delta 10}^a. \tag{2}$$

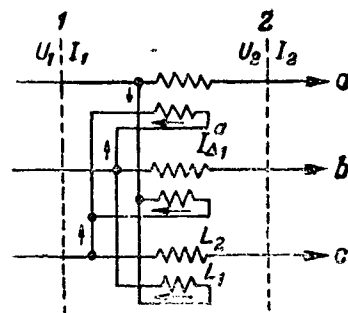


Рис. 6. Принципиальная схема поперечного добавочного трансформатора.

Пренебрегая, ради простоты, активным сопротивлением обмоток и учитывая, что

$$j_{\Delta 10}^a = \frac{\dot{U}_{10}^b - \dot{U}_{10}^c}{j\omega L_1} = \frac{a^2 - a}{j\omega L_1} \dot{U}_{10}^a,$$

получим:

$$\dot{U}_{10}^a = \frac{L_1}{L_1 - (a^2 - a)M} \dot{U}_2^a, \tag{2a}$$

что даст:

$$\dot{A} = \frac{L_1}{L_1 - (a^2 - a)M}, \quad (3)$$

$$(a = e^{j\pi/3}).$$

Ток холостого хода на первичной стороне трансформатора для фазы a согласно рис. 6,

$$i_{10}^a = \frac{\dot{U}_{10}^a - \dot{U}_{10}^b}{j\omega L_1} - \frac{\dot{U}_{10}^c - \dot{U}_{10}^a}{j\omega L_1} = \frac{3\dot{U}_{10}^a}{j\omega L_1}, \quad (4)$$

что с учетом (2а) дает:

$$i_{10}^a = \frac{3}{j\omega[L_1 - (a^2 - a)M]} \dot{U}_2^a, \quad (4а)$$

откуда

$$\dot{C} = \frac{3}{j\omega[L_1 - (a^2 - a)M]}. \quad (5)$$

В режиме короткого замыкания напряжение на первичной стороне трансформатора для фазы a

$$\dot{U}_{1k}^a = j\omega L_2 i_2^a + j\omega M i_{\Delta 1k}^a. \quad (6)$$

Исходя из уравнения

$$\omega_1 i_{\Delta 1k}^a = \omega_1 i_{\Delta 0}^a - \omega_2 i_2^a,$$

мы имеем:

$$i_{\Delta 1k}^a = i_{\Delta 0}^a - \frac{\omega_2}{\omega_1} i_2^a, \quad (7)$$

где ω_1 и ω_2 — соответственно число витков первичной и вторичной обмоток и $i_{\Delta 0}^a$ — ток намагничивания для данного режима трансформатора.

С целью исключения $i_{\Delta 0}^a$ привлечем дополнительное уравнение в виде:

$$\dot{U}_{1k}^c - \dot{U}_{1k}^a = j\omega L_1 i_{\Delta 1k}^b + j\omega M i_2^b, \quad (8)$$

которое может быть переписано как

$$(a - 1)\dot{U}_{1k}^a = j\omega L_1 a^2 \left(i_{\Delta 0}^a - \frac{\omega_2}{\omega_1} i_2^a \right) + j\omega M a^2 i_2^a. \quad (8а)$$

При помощи (8а) и (7) уравнение (6) можно привести к виду

$$U_{1k}^a = j\omega \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 - (a^2 - a)M} i_2^a. \quad (6а)$$

Таким образом,

$$\dot{B} = j\omega \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 - (a^2 - a)M}. \quad (9)$$

Наконец, ток короткого замыкания на первичной стороне трансформатора

$$i_{1k}^a = i_2^a + i_{\Delta 1k}^c - i_{\Delta 1k}^b. \quad (10)$$

С другой стороны, пользуясь (7), можно представить уравнение (10) в форме

$$i_{1k}^a = i_2^a + (a^2 - a) \left(i_{\Delta 0}^a - \frac{\omega_2}{\omega_1} i_2^a \right). \quad (10а)$$

Выражая значение $i_{\Delta 0}^a$ по (6), (7) и (8а) в виде:

$$i_{\Delta 0}^a = \frac{(a - 1) \left(L_2 - \frac{\omega_2}{\omega_1} M \right) + a^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} L_1 - M \right)}{L_1 a^2 - M a + M} i_2^a.$$

и подставляя его в (10а), окончательно получим:

$$i_{1k}^a = \frac{3L_2 + L_1}{L_1 - (a^2 - a)M} i_2^a. \quad (10б)$$

Следовательно,

$$\dot{D} = \frac{3L_2 + L_1}{L_1 - (a^2 - a)M}. \quad (11)$$

Обобщенные постоянные добавочного трансформатора с поперечным регулированием могут быть представлены после некоторых преобразований в следующей форме:

$$\left. \begin{aligned} \dot{A} &= \frac{L_1}{\sqrt{L_1^2 + 3M^2}} e^{j\theta} = \dot{A}_0 e^{j\theta}; \\ \dot{B} &= j\omega \frac{L_1 L_2 - M^2}{\sqrt{L_1^2 + 3M^2}} e^{j\theta} = \dot{B}_0 e^{j\theta}; \\ \dot{C} &= \frac{3}{j\omega \sqrt{L_1^2 + 3M^2}} e^{j\theta} = \dot{C}_0 e^{j\theta}; \\ \dot{D} &= \frac{3L_2 + L_1}{\sqrt{L_1^2 + 3M^2}} e^{j\theta} = \dot{D}_0 e^{j\theta}, \end{aligned} \right\} (12)$$

$$\text{где } \theta = \arctg \left(-\frac{\sqrt{3}M}{L_1} \right).$$

\dot{A} — комплексный коэффициент трансформации трансформатора $\left(\dot{A} = \frac{\dot{U}_{10}}{\dot{U}_2} \right)$, и легко заметить, что θ — угол между

векторами напряжений на входных и выходных зажимах трансформатора при его холостом ходе. Он может быть положительным или отрицательным, в зависимости от схемы соединения обмоток трансформатора. В предположении, что угол θ содержит в себе свой знак, как это было принято в (12), обобщенные постоянные (12) связываются между собой более универсальным, чем это было известно до сих пор, соотношением:

$$\dot{A}\dot{D} - \dot{B}\dot{C} = 1e^{j2\theta}. \quad (13)$$

Отсюда видно, что лишь только при $\theta = 0$ и $\theta = \pi$, универсальное соотношение, как частный случай, приводится к (1).

На основании полученных обобщенных постоянных поперечного трансформатора можно дать однофазную схему его замещения. Параметры обычных схем замещения Π или T удовлетворяют лишь условиям (1). Для удовлетворения соотношения (13) обычные схемы должны иметь еще последовательно включенный добавочный элемент, регулирующий лишь только фазу напряжения цепи. Таким образом, этому элементу необходимо предписать:

$$\dot{A} = 1e^{j\theta}; \quad \dot{D} = 1e^{j\theta}, \quad \dot{B} = 0; \quad \dot{C} = 0.$$

Параметры отдельных звеньев, например Z_1, Z_2, Y для T -схемы, определяемые по общим формулам: $\dot{A} = 1 + Z_1 Y; \dot{C} = Y; \dot{D} = 1 + Z_2 Y$, не являются однозначными. В самом деле, значение параметров можно определить, либо исходя из полного выражения A, C, \dot{D} по (12), либо из \dot{A}_0, \dot{C}_0 и \dot{D}_0 .

В заключение отметим, что недооценка соотношения (13) в целом ряде специфических вопросов может привести к ошибочным выводам.

Литература

1. В. К. Щербakov. Электричество. № 11, 1935.
2. А. Н. Милых. Сборник ХЭТИ, вып. III, 1937.



Электромеханические усилители ВЭИ

Кандидат техн. наук Я. С. ЭПШТЕЙН

Всесоюзный электротехнический институт

Первые схемы с электромашинными усилителями мощности были разработаны в ВЭИ в 1935—1936 гг. в связи с работами по электроприводу с управляемыми ртутными выпрямителями и опубликованы в технических отчетах ВЭИ 1937 г. и в статьях Ф. И. Бутаева и Е. Л. Эттингера [Л. 1, 2, 3]. В 1936 г. были изготовлены специальные машины с несколькими обмотками управления и специальными характеристиками. При этом был получен коэффициент усиления по мощности около 900. В одной из машин была применена сильно насыщенная магнитная система (в настоящее время подобные машины выпускаются фирмой Allis Chalmers в США под названием регулекс).

Электромашинные усилители испытывались в лаборатории ВЭИ и было намечено применить их в запроектированных установках для приводов шахтного подъемника и двух прокатных станов. Внедрение разработанных схем затянулось из-за трудностей с поставкой стандартного оборудования. Начавшаяся война на несколько лет прервала работы. В конце 1940 г. А. Г. Иосифьян разработал в ВЭИ электромашинный усилитель типа амплидин на 2,5 kW. Испытания его дали удовлетворительный результат. Коэффициент усиления составил 5 000. В 1944 г. работы по приводу возобновились. В первую очередь необходимо было осуществить ряд специальных установок с электромашинными усилителями. В 1944 г. научные сотрудники ВЭИ И. М. Садовский и И. С. Кунц рассчитали электромашинные усилители с поперечным полем типа амплидин. Машины изготовили из специальных коллекторных машин. Испытания лаборатории дали вполне удовлетворительные результаты.

Испытания опытных машин показали необходимость учитывать при проектировании усилителей размагничивающий эффект коммутирующих секций. Автор детально исследовал этот вопрос. Результаты изложены в статье «Особенности проектирования амплидинов» (Электричество, № 12, 1945).

Расчеты и чертежи первого электромеханического усилителя, который предназначался для работы в некоторых схемах управления, разрабатываемых ВЭИ, были выполнены в конце 1944 и в начале 1945 г. Первые десять усилителей выпущены опытным заводом ВЭИ в конце апреля 1945 г.

Этот тип усилителя был спроектирован на

500 W с приводным двигателем постоянного тока 4 500 об/мин в одном корпусе с усилителем. Исполнения усилителя двигателя по напряжению следующие: напряжение усилителя 110, 65 V; напряжение двигателя 110, 24 V.

Исполнение усилителя по числу и величине сопротивлений обмоток управления даны в табл. 1.

Таблица 1.

| Число обмоток управления | Сопротивление каждой обмотки, Ω | Стабилизир. обмотка | Сопротивление обмотки, Ω |
|--------------------------|--|---------------------|---------------------------------|
| 2 | 1 600 | — | — |
| 2 | 1 700 | 1 | 45 |
| 2 | 40 | — | — |
| 2 | 0,5 | — | — |

Исполнение по способу защиты — защищенное с собственной вентиляцией, осуществляемой аксиальным вентилятором, насаженным на общий вал агрегата. Конструктивное исполнение и отдельные детали агрегата показаны на рис. 1 и 2.

Усилители были подвергнуты длительным испытаниям. Испытания показали стабильность характеристик и безыскровую коммутацию усилителей.

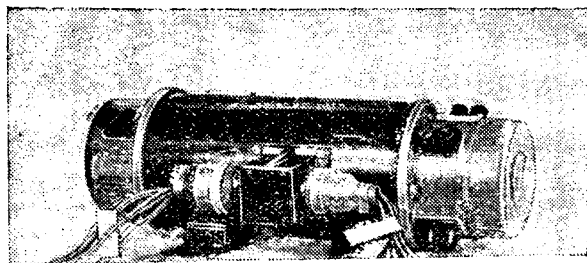


Рис. 1 Усилитель ВЭИ на 0,5 kW (выпуск начала 1945 г.)

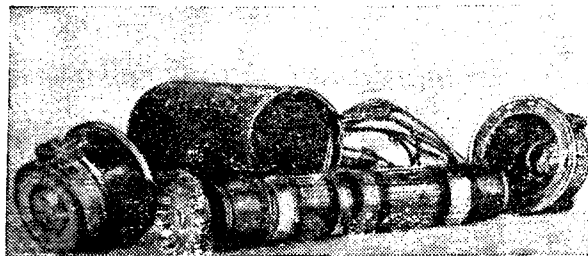


Рис. 2. Детали усилителя, показанного на рис. 1

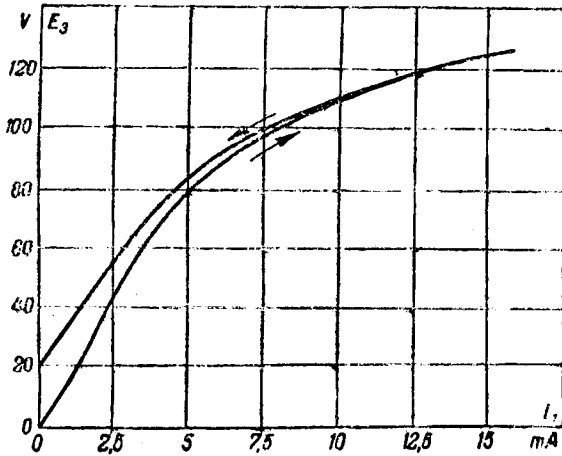


Рис. 3. Кривая намагничивания усилителя 65 V, 500 W с приводным двигателем 110 V.

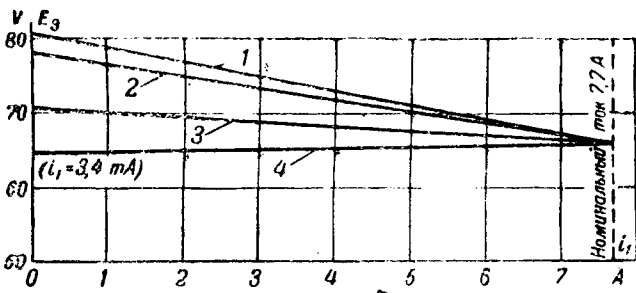


Рис. 4. Внешние характеристики усилителя 65 V, 500 W для различных степеней компенсации реакции якоря. 1 — полная компенсация, $i_1 = 5 \text{ mA}$; 2 — $i_1 = 4,72$; 3 — $i_1 = 4,05$; 4 — перекомпенсация, $i_1 = 3,4 \text{ mA}$.

Ток обмотки управления для усилителя 65 V равен по испытанию 5 mA, для усилителя 110 V — 7 mA. Следовательно, входная мощность при измеренном сопротивлении 1650 Ω равна 0,041 W для усилителя 65 V и 0,081 W для усилителя 100 V. Таким образом, коэффициент усиления при полной компенсации реакции якоря в продольной оси и номинальной нагрузке 50 W равен 12 200 для усилителя 65 V и 6 200 для 110 V.

На рис. 3 и 4 даны кривые намагничивания и внешние характеристики усилителя на 65 V. Из кривых рис. 4 видно, что при помощи сопротивления, шунтирующего компенсационную обмотку, можно практически получить любую внешнюю характеристику, в частности характеристику с постоянным значением напряжения, при изменении нагрузки от нуля до номинальной величины. Ток обмотки управления в этом случае равен 3,4 mA (прямая линия на рис. 4), коэффициент усиления — 26 500.

Однако, в некоторых схемах такая характеристика является неблагоприятной с точки зрения устойчивости системы в целом. Поэтому более характерным для усилителя является коэффициент усиления при полной компенсации реакции якоря. Эта величина дана в сводной табл. 2 основных данных серии электромеханических усилителей.

Наблюдающееся различие в коэффициентах усиления между усилителями 65 и 110 V вполне

Таблица 2

Показатели электромеханических усилителей ЭМУ типа ЭМУ и приводных двигателей к ним

| Тип | Мощность двигателя, кВт | Напряжение, V | Ток, A | к. п. д. | Обмотки управления | | | | Данные электродвигателя | | | | | | |
|-----------|-------------------------|---------------|-------------|----------|--------------------|--|-------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------|--|------------------|--------------|-----------------------|
| | | | | | Число | Сопротивление каждой обмотки, Ω | Ток, mA | Входная мощность, W | Коэффициент усиления | Сопряжение двигателя | Род тока | Напряжения, V | Ток, A | Число об/мин | Тип двигателя |
| ЭМУ-0,3 П | 0,8 | 60 110 | 5,0 2,7 | 0,65 | 2 | 1 300 | 10 15 | 0,13 0,3 | 2 300 1 000 | В одном корпусе с усилителем | Постоянный | 24 110 | 27 | 5 000 | — |
| ЭМУ-0,5 П | 0,7 | 60 110 | 11,6 6,3 | 0,75 | 2 | 1 600 | 9,5 12,5 | 0,15 0,25 | 4 600 2 200 | То же | Постоянный | 24 100 | 5,5 11 | 5 000 | — |
| ЭМУ-0,5 А | 0,5 | 60 110 | 8,3 4,5 | 0,7 | 2 | 1 600 | 9,5 12,5 | 0,15 0,25 | 3 300 2 000 | " | Трехфазный | 127 220/230 | 5,7 3,3/1,9 | 2 850 | — |
| ЭМУ-1,2 П | 1,6 | 110 | 14,5 | 0,8 | 2 | 4 000 | 8 | 0,25 | 6 400 | " | Постоянный | 110 | 23 | 4 000 | — |
| ЭМУ-1,2 А | 1,2 | 110 | 19,9 | 0,78 | 2 | 4 000 | 8 | 0,25 | 4 800 | " | Трехфазный | 127 220/380 | 10,5 6,05/3,5 | 2 850 | — |
| ЭМУ-2,5 | 2,5 | 230 | 10,9 | 0,82 | 4 | 1 обмотка 74 Ω , остальные по 28 Ω | 82 | 0,5 | 5 000 | Усилитель со свободным концом вала | " | Данные по каталогу завода-изготовителя | — | 2 850 об/мин | АД-31 2 850 об/мин |
| ЭМУ-5,0 | 5,0 | 230 | 21,7 | 0,85 | 4 | 1 обмотка 37 Ω , остальные по 11,5 Ω | 150 | 0,83 | 6 000 | Соединен с двигателем помощью муфты | " | То же | — | 2 850 об/мин | АД-42 2 850 об/мин |

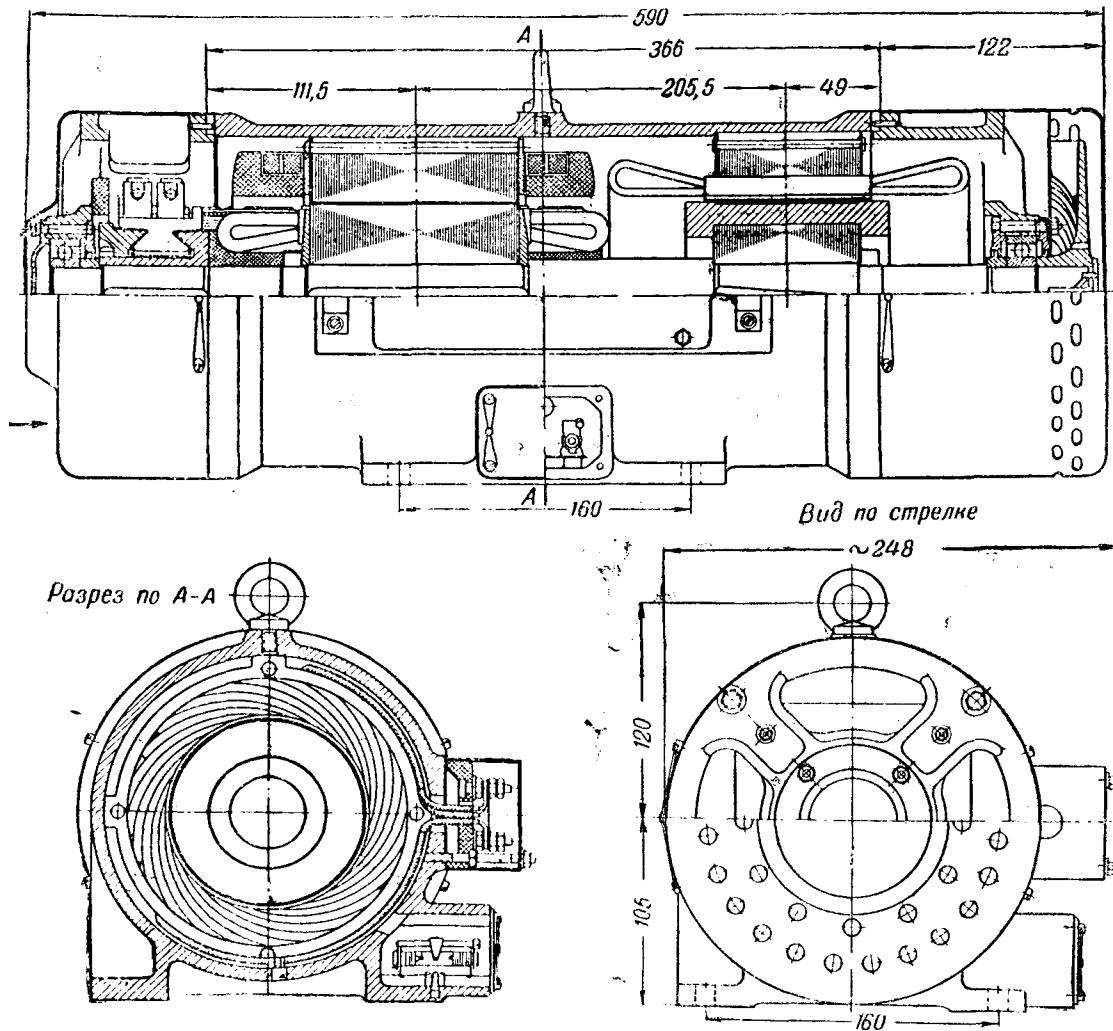


Рис. 5. Типовая конструкция однокорпусного усилителя ВЭИ.

закономерно. В общей теории электромеханического усилителя показано, что при одном и том же сечении меди ток обмотки управления в определенных границах изменяется пропорционально выходному напряжению в степени $4/3$, т. е. коэффициент усиления тем выше, чем меньше напряжение, на которое спроектирован усилитель.

Коэффициент усиления по испытанию оказался значительно выше требуемого по техническим условиям. Обычно такие большие коэффициенты усиления для тех схем управления, в которых применяются электромеханические усилители мощностью 0,5—5 kW, не требуются. Требуемая величина обычно находится в пределах 1000—4000. Поэтому при разработке серии электромеханических двигателей в ВЭИ от 0,3 до 5 kW указанные значения коэффициента усиления были приняты в основу проекта. Электромеханические усилители указанных мощностей широко применяются как в промышленных, так и в специальных схемах управления. Требования, предъявляемые к ним, отличаются большим многообразием как по конструктивному исполнению, так и по характеристикам и роду тока приводных двигателей.

Эти требования в основном можно разбить на следующие группы:

Конструктивное исполнение:
1) усилитель и приводной двигатель в одном корпусе; 2) усилитель и приводной двигатель соединены с помощью муфты.

Род тока приводного двигателя:
1) постоянный ток; 2) переменный ток.

Число обмоток управления:
1) две обмотки управления; 2) три обмотки управления (одна противоколебательная); 3) четыре обмотки управления.

Режим работы:
1) усилители длительной мощности и 2) усилители 10-минутной мощности.

Исполнения усилителей и приводных двигателей по напряжению также многообразны. Подробные данные приведены в табл. 2.

Усилители мощностью от 0,3 до 1,2 kW разработаны в однокорпусном исполнении с приводными двигателями переменного или постоянного тока в зависимости от технических условий заказа. Усилители 2,5 и 5 kW предусмотрены для соединения с приводным двигателем помощью муфты.

Учитывая многообразие исполнений и то, что экономические показатели электромеханического усилителя не столь существенны, как для массовых машин, для уменьшения общего количества типов и облегчения производства был принят коэффициент нарастания мощности около 2.

Большое внимание было обращено при разработке на унификацию деталей и приспособлений. Во всех однокорпусных агрегатах применен одинаковый штамп для жести якоря усилителя и приводного двигателя постоянного тока. Для всей серии (включая щетки приводных двигателей постоянного тока) было принято несколько размеров щеток.

С целью уменьшения общего числа щитов конструкция усилителя 500 W, выпускаемого в настоящее время опытным заводом ВЭИ, была изменена, и для большинства однокорпусных машин применены щиты, которые пригодны как для исполнения с приводным двигателем постоянного, так и переменного тока.

Все усилители выполнены без дополнительных полюсов в поперечной оси, так как теоретическое исследование и испытания ряда образцов показали нецелесообразность их применения.

Типовая конструкция однокорпусных агрегатов показана на рис. 5.

Рабочие чертежи всех габаритов (от 0,3 до 5 kW) и исполнений полностью разработаны и пущены в производство. Все штампы жести усилителей и двигателей постоянного и переменного тока всей серии почти полностью изготовлены.

Из разработанной серии электромагнитных усилителей в настоящее время опытным заводом ВЭИ выпущены усилители на длительную мощность 0,3 kW и 10 min. мощность 0,53 kW; на 1,30 kW — 10 min. мощность. Кроме того, продолжается выпуск усилителей 0,5 kW первого образца. Остальные машины серии находятся в стадии производственного освоения.

Литература

1. Вестник электропромышленности, № 8, 10, 1937; № 12, 1938; № 10, 1939.
2. Известия Академии наук СССР, ОТН, № 5, 1938.
3. Ф. И. Бугаев, Г. С. Пантюшев, Е. Л. Эттнер. Регулируемый электропривод с управляемыми ртутными выпрямителями, Госэнергоиздат, 1940.
4. Я. С. Эпштейн. Особенности проектирования амплитудов. Электричество, № 12, 1945.



К вопросу расчетов токов короткого замыкания и действия релейной защиты

Инж. А. Б. БАРЗАМ

Москва

Обычно при расчетах токов к. з., по которым производится выбор установок защиты, изменение тока по времени учитывается только кривыми затухания. В сложных системах отмечен ряд случаев отказа защиты с выдержкой времени, имеющей максимальный токовый пусковой орган. Происходили неселективные отключения и развитие аварии. Ток к. з., определенный обычными методами, превосходил ток трогания защиты поврежденного участка. Послеаварийные проверки защиты показывали ее исправность и соответствие токов трогания и выдержек времени заданным величинам. На основе анализа и разбора подобных аварий автором было установлено [Л. 1]:

1. Для систем, в которых затянувшиеся к. з. могут вызвать значительное расхождение векторов э. д. с. параллельно работающих генераторов, применение методов расчетов токов к. з., не учитывающих этого явления, дает неправильные результаты.

2. Ток в месте к. з. для систем, приводимых к схемам «две станции конечной мощности», или «станция — шины бесконечной мощности», допустимо определять способом, изложенным ниже.

Принимается, что расхождение векторов э. д. с. между электростанциями практически не будет влиять на величину векторов э. д. с. генераторов каждой из станций. В любой момент времени ток

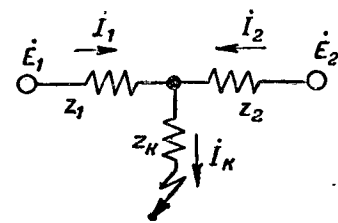


Рис. 1. Схема эквивалентной сети и токи при к. з.

$$\left(I_k = I_1 + I_2 = \frac{E_1}{Z_{1\sigma}} + \frac{E_2}{Z_{2\sigma}}; Z_{1\sigma} = Z_1 + Z_k + Z_k \frac{Z_1}{Z_2}; \right. \\ \left. Z_{2\sigma} = Z_2 + Z_k + Z_k \frac{Z_2}{Z_1} \right).$$

от соответствующей станции определяется величиной и фазой вектора э. д. с. только этой станции и полными сопротивлениями (взаимным и до места к. з.). Ток в месте повреждения равен геометрической сумме подтекающих токов (рис. 1).

Спустя время t_k от начала к. з., этот ток равен начальному значению тока, вычисленному обычным методом (в частности, по кривым затухания), умноженному на коэффициент, учитывающий геометрическое сложение подтекающих токов под углом δ_{12} , равным углу между векторами э. д. с. станций для данного момента времени.

Кратность тока к. з.

$$k_i = \sqrt{1 - 4\gamma_{10}\gamma_{20} \sin^2 \frac{\delta_{12}^0}{2}} \quad (1)$$

В (1) γ_{10} и γ_{20} — доли тока, подтекающие к месту к. з. от станций в начальный момент времени, когда сдвиг между векторами э. д. с. может быть принят примерно равным нулю,

$$\gamma_{10} = \frac{I_{10}}{I_{к0}}$$

$$\gamma_{20} = \frac{I_{20}}{I_{к0}} \quad (2)$$

3. Для анализа действия релейной защиты представляет интерес к. з. на отпайке, приключенной к транзитной линии вблизи электрического центра системы.

Такая авария характеризуется наименьшей кратностью токов, подтекающих к месту к. з. при расхождении векторов э. д. с. станций, и следовательно, наиболее неблагоприятна для работы максимально-токового органа защиты.

При рассматриваемом повреждении

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{10} = \gamma_{20} = 0,5 \\ k_i = \cos \frac{\delta_{12}^0}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Весьма резкое изменение токов в месте к. з. происходит, когда одна из электростанций при аварии полностью сбрасывает нагрузку и ее генераторы по отношению к генераторам другой станции начинают равномерно ускоряться.

В этом случае [Л. 2] относительный угол

$$\delta_{12}^0 = \frac{At_k^2}{2}, \quad (4)$$

где

$$A = \frac{\omega}{2K} P_i \quad (5)$$

Здесь ω — угловая скорость; P_i — механическая нагрузка на машины; K — энергия вращения ротора: $K = kP_n$; P_n — номинальная мощность машины; k — удельная величина энергии вращения на одну тысячу киловольтампер номинальной мощности машины (для турбогенераторов $k=9 \div 11$, для гидрогенераторов $k=3 \div 5$, для синхронных двигателей и компенсаторов $k=1 \div 3$).

Таким образом для рассматриваемого частного случая при $f=50$ Hz

$$\delta_{12}^0 = 4500 \frac{1}{k} \frac{P_i}{P_n} t_k^2, \quad (6)$$

а кратности токов к. з. в месте повреждения при $\frac{P_i}{P_n} = 0,8$ равны:

при нарушении устойчивости турбогенераторов ($k=10$):

$$k_i = \cos 180 t_k^2, \quad (7a)$$

при нарушении устойчивости гидрогенераторов ($k=5$):

$$k_i = \cos 360 t_k^2, \quad (7б)$$

при нарушении устойчивости синхронных компенсаторов ($k=3$):

$$k_i = \cos 600 t_k^2. \quad (7в)$$

4. Релейная защита должна учитывать воз-

можность возникновения аварий в указанных выше условиях. Выражениями (7) в ряде случаев можно пользоваться для ориентировки, без производства сложных уточненных расчетов.

Обязательным является применение быстродействующих защит. Они требуются как для сохранения устойчивости, так и для селективного отключения к. з.

Из (7) видно, что резервные защиты с максимальным токовым пусковым органом и дополнительной выдержкой времени могут отказаться. Для предотвращения отказов могут применяться максимальные токовые органы с фиксацией начального действия от реле минимального напряжения (рис. 2), в условиях, когда этим не нарушается селективность работы¹.

Защита, реагирующая на полное сопротивление, установленная на фидере, отходящем от транзитной линии, менее чувствительна к возникновению пульсаций токов при неотключенном к. з. по сравнению с обычной защитой максимального тока.

5. При неотключенном к. з. на отпайке от транзитной связи токи в поврежденных фазах, подтекающие от генерирующих станций, пульсируют меньше. Пульсация токов по поврежденным фазам транзитных связей резко выражается после отключения затянувшегося к. з., и определяется уравнительными токами, обусловленными качаниями машин.

6. Величины токов к. з. по приближенным формулам (7) в одном случае близко совпали с опытными данными² (рис. 3), в другом — с расчетом по точным методам на модели сетей переменного тока³ (рис. 4).

¹ Неселективное действие может быть, например, при медленном восстановлении напряжения или в кольцевой сети при выполнении защиты с встречно-ступенчатой характеристикой.

² Опыты были поставлены в Челябинэнерго для выяснения причины отказа работы защиты при имеющей место аварии. Испытания проводили: нач. Центральной релейной службы Челябинэнерго П. И. Шульга, инж. Н. С. Пеклер, инж. Ф. Ф. Дерюгин, инж. В. С. Бессонов и др.

³ Рассчитать токи при к. з. в системе Молотовэнерго точными методами на модели сетей переменного тока для выяснения причины отказа в работе резервной максимальной токовой защиты с временем действия 0,7 sec. предложил в 1943 г. инж. Б. Н. Потехин. Им же было высказано предположение в том, что отказ защиты произошел из-за нарушения устойчивости параллельно работающих на к. з. станций. Расчет на модели выполнил инж. Т. С. Зеленцов и инж. Л. А. Мызиным.

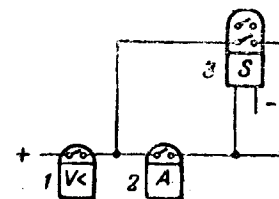


Рис. 2. Вольтамперная защита с мгновенным замером и удерживанием от реле минимального напряжения.

1 — реле минимального напряжения; 2 — реле максимального тока; 3 — реле времени (нижний контакт мгновенный).

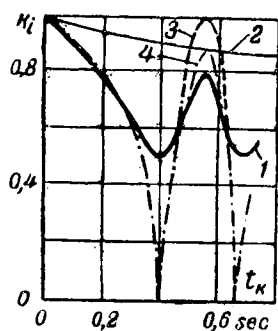


Рис. 3. Изменение тока по времени в месте повреждения при опыте трехфазного к. з. в сети с синхронным компенсатором.

1—ток в месте повреждения по записи осциллографа; 2—расчет по кривым затухания; 3 — по формуле $k_I = \cos 600t_k^2$;

4—то же, что и 3, но с учетом затухания э. д. с. по кривым затухания.

Учитывая, что: 1) принятое в п. 2 допущение о возможности при практических расчетах токов к. з. пренебрегать влиянием качаний на величину э. д. с. генераторов основывалось в значительной степени на инженерной интуиции; 2) общее, точное, определение изменения угла между э. д. с. по времени трудоемко и 3) приближенное решение (7) пригодно для ориентировочных расчетов и вычислено для частного (тяжелого) аварийного случая, Главуралэнерго в 1944 г. по инициативе автора поручило разработку МЭИ «Упрощенного метода расчетов т. к. з. с учетом качаний».

В работе МЭИ, оконченной в октябре 1944 г., выводы которой приведены в статье В. А. Веникова и С. А. Ульянова [Л. 3], доказано, что для систем, приводимых к схеме «станция — шины бесконечной мощности», с достаточной для практики точностью величина т. к. з. может вычисляться «путем геометрического суммирования тока от эквивалентного генератора, вычисленного обычными методами расчетов к. з. (например, по кривым затухания), и тока от источника бесконечной мощности».

Для вычисления углового сдвига между токами предложено использовать упрощенную зависимость, принимая $E_d = \text{const}$, или типовые кривые для определения угла между векторами э. д. с. и напряжением шин бесконечной мощно-

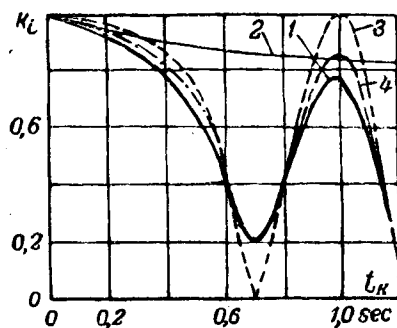


Рис. 4. Изменение тока по времени при имевшем место трехфазном к. з.

1—расчет на модели методом последовательных интервалов; 2—по кривым затухания; 3—по формуле $k_I = \cos 180 t_k^2$;

4—то же, что и 3, но с учетом затухания э. д. с. по кривым затухания.

сти, разработанные инж. Summers and Clure [Л. 4].

В дальнейшем, в конце 1944 г., инж. Д. Е. Трофименко предложил распространить эти кривые для систем, приводимых к схеме «две станции конечной мощности» [Л. 5].

Таким образом, в настоящее время имеются возможности упрощенного расчета т. к. з., с достаточной для практических целей точностью отвечающие конкретным условиям.

Анализ лишний раз подтверждает необходимость и обязательность применения в сложных системах быстродействующего отключения. Быстрое отключение требуется даже на таких, казалось бы, «потребительских» фидерах, как неактивированные фидеры генераторного напряжения, отходящие от тэц, о чем было указано еще в 1942 г. в противоаварийном циркуляре № 20 Технического отдела НКЭС. Возможностям создания такого отключения посвящена самостоятельная работа.

Литература

1. А. Б. Барзам. К вопросу расчетов токов к. з. и действию релейной защиты. Материалы совещания по релейной защите при Главуралэнерго, 1944.
2. А. А. Вульф. Устойчивость параллельной работы электрических станций, ГОНТИ, стр. 98 и 139—141, 1938.
3. В. А. Веников и С. А. Ульянов. Электричество, № 2, 1946.
4. Summers and Clure. Progress in the study of system stability. Transactions of AIEE, № 1, 1930.
5. Д. Е. Трофименко. Расчет динамической устойчивости двух станций по типовым кривым. Электричество, № 9, 1945.



Расчет магнитной цепи генератора, сохраняющего неизменный поток в якоре

Кандидат техн. наук Д. В. ГОЛУБЕВ

Москва

Измерение угловых скоростей вращающихся механизмов, применяемых в различных областях техники, имеет значительный практический интерес. Расчет и конструирование соответствующих измерительных устройств, удовлетворяющих разнообразным специфическим требованиям той или иной области техники, остается весьма актуальной задачей. В этом сообщении излагается обоснование методики расчета одного из подобных устройств [Л. 1, 2].

Для измерения угловой скорости в рассматриваемом устройстве применен специальный генератор, э. д. с. которого пропорциональна измеряемой величине. Генератор имеет независимое возбуждение и благодаря некоторым особенностям устройства магнитной цепи (рис. 1) колебания напряжения цепи возбуждения и намагничивающего тока не оказывают влияния на величину потока якоря. Цепь возбуждения генератора имеет две обмотки, включенные навстречу друг другу и соединенные последовательно. Основная обмотка, расположенная на среднем стержне, имеет w витков, вспомогательная, расположенная на полюсах машины, — $w_1 = kw$, где $k < 1$.

Неизменность потока в якоре при колебаниях намагничивающего тока обеспечивается, во-первых, определенным соотношением ампервитков основной и вспомогательной обмоток, во-вторых, подбором соотношений магнитных проводимостей ветвей и, наконец, тем, что железо среднего стержня насыщено, в то время как крайние ветви имеют ненасыщенное железо. Установим соотношения ампервитков основной и вспомогательной обмоток и проводимостей ветвей магнитной цепи, обеспечивающие неизменность потока якоря при колебаниях намагничивающего тока.

Расчет разветвленной магнитной цепи, содержащей несколько м. д. с., производится обычно графическим методом [Л. 3], что связано с трудоемкой вычислительной работой. Однако, этот способ не дает возможности разрешения поставленной задачи в общем виде. Нами использован метод спрямления рабочего участка кривой намагничивания железа среднего стержня (в интервале допустимых колебаний намагничивающего поля), что позволит решить задачу аналитическим путем. Кривая намагничива-

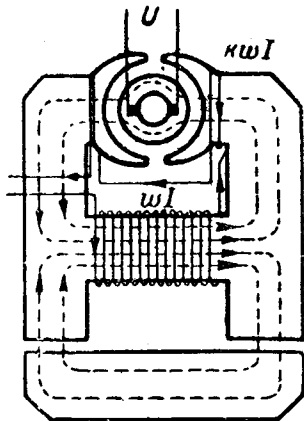


Рис. 1.

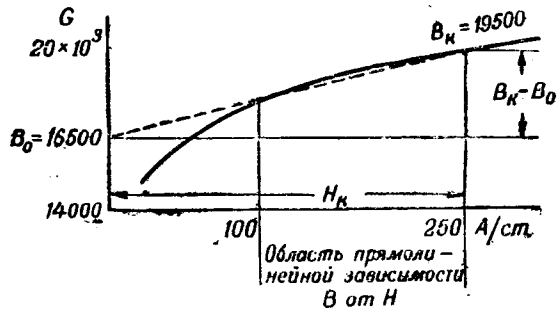


Рис. 2.

ния электротехнической стали на отдельных участках с большой степенью точности может быть заменена прямой линией. В частности, для стали ЕС1А в интервале от 17 700 до 19 500 G, т. е. при изменении напряженности намагничивающего поля от 100 до 250 А/см, ординаты кривой намагничивания отличаются от ординат прямой меньше чем на один процент [Л. 4]. В пределах подобных участков зависимость между B и H выражается формулой

$$B = B_0 + \frac{B_k - B_0}{H_k} H, \tag{1}$$

где B и H — текущие значения индукции и напряженности поля в пределах рассматриваемого участка; B_k и H_k — максимальные значения тех же величин, ограничивающие область прямолинейной зависимости, и B_0 — начальная ордината (рис. 2).

Зависимость относительной магнитной проницаемости от H в том же интервале такова:

$$\mu_r = \frac{B}{H} = \frac{B_k - B_0}{H_k} + \frac{B_0}{H}, \tag{2}$$

где B выражено в гауссах, а H — в эрстедах.

Непостоянство магнитной проницаемости и ее зависимость от напряженности магнитного поля обуславливают также непостоянство магнитного сопротивления стали средней ветви и его зависимость от H , т. е. делают рассматриваемую цепь цепью с нелинейными параметрами.

Введем следующие обозначения: поток, м. д. с. и проводимость ветви (полюса машины, якорь и воздушный зазор) обозначим соответственно Φ_1 , $w_1 I$ и g_1 ; те же величины в средней ветви Φ , $w I$ и g ; в нижней Φ_2 и g_2 .

Наряду с потоками, проходящими в ветвях магнитопровода, будут существовать потоки рассеяния, замыкающиеся вокруг основной и вспомогательной обмоток. Однако, число витков вспо-

могательной обмотки составляет лишь сравнительно небольшую часть от числа витков основной, поэтому потоком рассеяния, замыкающимся вокруг вспомогательной обмотки, можем пренебречь. Поток рассеяния, замыкающийся вокруг основной обмотки, можно включить в поток Φ_2 , проходящий в нижней ветви. В таком случае g_2 включает в себя также и проводимость, обуславливающую поток рассеяния основной обмотки.

Направим все потоки к одному узлу магнитной ветви и найдем их значения методом узлового напряжения. Магнитные сопротивления крайних ветвей, ввиду слабого насыщения стали, постоянны и в основном определяются магнитным сопротивлением воздушных промежутков. Магнитная проводимость среднего стержня в пределах прямолинейного участка кривой намагничивания:

$$g = \frac{\mu_0 \mu_r S}{l} = \frac{S \mu_0 (B_k - B_0)}{H_k l} + \frac{B_0 \mu_0 S}{l H}. \quad (3)$$

Обозначив через U_m узловое напряжение, для среднего стержня можем написать:

$$Hl = 0,4 \pi (\omega l - U_m). \quad (4)$$

Заменяя в формуле (3) произведение Hl его значением из равенства (4), найдем:

$$g = \frac{(B_k - B_0) \mu_0 S}{H_k l} + \frac{B_0 S \mu_0}{0,4 \pi (\omega l - U_m)} = a + \frac{b}{\omega l - U_m}, \quad (5)$$

где через a и b обозначены постоянные коэффициенты, смысл которых очевиден.

Узловое напряжение и потоки отдельных ветвей таковы:

$$U_m = \frac{k \omega l g_1 + \omega l \left(a + \frac{b}{\omega l - U_m} \right)}{g_1 + g_2 + a + \frac{b}{\omega l - U_m}}; \quad (6)$$

$$\Phi_1 = (k \omega l - U_m) g_1; \quad (7)$$

$$\Phi = b + a(\omega l - U_m); \quad (8)$$

$$\Phi_2 = U_m g_2. \quad (9)$$

Решая уравнение (6) относительно U_m , получим:

$$U_m^2 + [\beta + (1 + \alpha) \omega l] U_m + (\beta + \alpha \omega l) \omega l = 0, \quad (10)$$

где

$$\alpha = \frac{k g_1 + a}{g_1 + g_2 + a} \quad \text{и} \quad \beta = \frac{b}{g_1 + g_2 + a}.$$

Корни этого уравнения можно написать на основании теоремы о зависимости между корнями и коэффициентами квадратного уравнения:

$$\left. \begin{aligned} U_{m1} &= \beta + \alpha \omega l, \\ U_{m2} &= \omega l. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Второй корень соответствует случаю, когда H в среднем стержне равно нулю, так как

$$H = \frac{0,4 \pi (\omega l - U_m)}{l}.$$

Но уравнение (6) справедливо только для тех значений H , при которых сталь насыщена, поэтому второй корень должен быть оставлен без внимания. Подставляя найденное значение H в выражение для Φ_1 , получим:

$$\Phi_1 = -\beta g_1 + (k - \alpha) g_1 \omega l. \quad (12)$$

Из формулы (12) непосредственно вытекает условие постоянства потока в якоре при изменении намагничивающего тока, а именно $k = \alpha$. Подставляя вместо α его значение и произведя элементарные преобразования, найдем:

$$k = \frac{a}{g_1 + a}. \quad (13)$$

Коэффициент k , равный отношению чисел витков вспомогательной и основной обмоток, зависит только от параметров нижней и средней ветвей магнитной цепи.

При найденном значении k поток якоря Φ_1 сохраняет в известных пределах изменения намагничивающего тока постоянное значение

$$\Phi_1 = \frac{\beta g_1}{g_1 + g_2 + a}. \quad (14)$$

Поток якоря зависит от параметров всех трех ветвей магнитной цепи и, в частности, пропорционален B_0 — отрезку, отсекаемому на оси ординат прямой, заменяющей кривую намагничивания. Потоки в нижней и средней ветвях при том же значении k таковы:

$$\Phi_2 = \frac{\beta g_2}{g_1 + g_2 + a} + \frac{a g_2}{a + g_2} \omega l, \quad (15)$$

$$\Phi = \frac{b (g_1 + g_2)}{g_1 + g_2 + a} + \frac{a g_2}{a + g_2} \omega l. \quad (16)$$

Литература

1. Н. Е. Кобринский. Методы и приборы для измерения угловых скоростей. Изд Академии наук СССР, 1941.
2. Г. Кейнат. Электроизмерительная техника, т. 2. Изд. Кубуч, 1936.
3. К. А. Круг. Основы электротехники. т. I, Госэнергоиздат, 1938.
4. Г. Н. Петров, Н. В. Горохов и др. Электрические машины, под ред. Г. Н. Петрова, Госэнергоиздат, 1940.



Вычисление собственных значений и функций на электрической схеме

Доктор физико-матем. наук, проф. Л. А. ЛЮСТЕРНИК

Москва

Одна из важнейших задач математической физики — нахождение собственных значений и функций. Численные методы решения этой задачи обычно весьма трудоемки. Естественно, возникает проблема экспериментального решения этой задачи путем создания соответственной физической модели. В настоящей заметке доказывается, как решать эту задачу для важного класса уравнений на модели из сопротивлений и емкостей.

Пусть A квадратная симметрическая матрица, все недиагональные члены которой одного знака, например, неположительны:

$$a_{ij} = a_{ji} \leq 0 \quad (i \neq j).$$

Обозначим:

$$b_{ij} = -a_{ij} \quad (i \neq j; b_{ij} \geq 0),$$

$$b_{ii} = \sum_{j=1}^n a_{ij} = a_{ii} - \sum_{j+i, j=1}^n b_{ij}.$$

Будем искать собственные значения $-\lambda$ и собственные векторы y (с компонентами y_1, y_2, \dots, y_n) уравнения

$$Ay + \lambda y = 0 \quad (1)$$

или в развернутом виде:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} y_j + \lambda y_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

или, что то же самое,

$$(b_{ii} + \lambda) y_i + \sum_{j=1}^n b_{ij} (y_i - y_j) = 0,$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

Будем в дальнейшем полагать:

$$b_{ii} \geq 0 \quad (2)$$

для всех i (или $a_{ii} \geq \sum_{i,j=i} |a_{ij}|$).

Это условие не вызывает дополнительных ограничений, так как мы всегда можем к диагональным членам добавить константу c так, чтобы после добавления неравенства (2) удовлетворялись. При этом уравнение (1) перейдет в

$$(A + c)y + (\lambda + c)y = 0.$$

Собственные векторы от такой замены не меняются, а собственные значения сдвигаются на c .

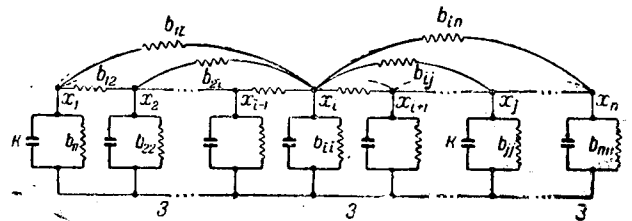
Наряду с уравнением (1) рассмотрим уравнение

$$Ay = k \frac{dy}{dt} \quad (3)$$

(будем рассматривать вектор y зависящим от времени), или, что то же самое, систему

$$b_{ii} y_i + \sum_{j=1}^n b_{ij} (y_i - y_j) = k \frac{dy_i}{dt}.$$

Эта система моделируется на электрической сетке из сопротивлений и емкостей (см. рисунок)



с узлами x_1, x_2, \dots, x_n, z , причем на узле z всегда напряжение равно 0, а на узлах $x_i, i=1, 2, \dots, n$ напряжение равно y_i ; достаточно соединить узлы x_i и x_j сопротивлением $\frac{1}{b_{ij}}$, а все узлы x_i с узлом z сопротивлениями $\frac{1}{b_{ii}}$ и емкостью k [Л. 1].

Пусть $u^{(1)}, u^{(2)}, \dots, u^{(n)}$ — полная система собственных векторов матрицы A ; $-\lambda_i, i=1, 2, \dots, n$ — соответственные собственные числа: $Au^{(i)} = -\lambda_i u^{(i)}$. Имеем: все $\lambda_i > 0$, тогда

$$u(t) = \sum_{i=1}^n c_i u^{(i)} e^{-\frac{\lambda_i t}{k}} \quad (4)$$

будет общим решением уравнения (3).

Пусть λ_1 наименьшее из абсолютных величин этих собственных чисел. Положим для простоты, что оно простое, т. е. что ему отвечает единственный нормированный собственный вектор $u^{(1)}$. При $t \rightarrow 0, u(t) \rightarrow 0$; при этом, если $c \neq 0$, член $c_1 u^{(1)} e^{-\frac{\lambda_1 t}{k}}$ стремится к нулю медленнее остальных членов правой части (4). Поэтому при больших t

$$u(t) \approx c_1 u^{(1)} e^{-\frac{\lambda_1 t}{k}} \quad (5)$$

Если первое собственное значение $-\lambda_1$ кратное, то формула (5) сохраняет силу, а $u^{(1)}$ — один из собственных векторов, отвечающих $-\lambda_1$

Обозначая через $u_i(t)$ и $u_i^{(1)}$ компоненты $u(t)$ и $u^{(1)}$, получим:

$$u_i(t) \approx c_1 u_i^{(1)} e^{-\frac{\lambda_1 t}{k}} \quad (6)$$

При произвольных начальных напряжениях в узлах сети, лишь бы $c_1 \neq 0$, напряжения в них в достаточно далекий момент t пропорциональны компонентам $u_i^{(1)}$ первого собственного вектора. Этот „достаточно далекий“ момент практически наступает очень быстро. Если задать начальные напряжения порядка сотен вольт, то следует замерить их, когда они имеют величину порядка одного вольта. Техника измерений с помощью, например, осциллографа быстро затухающих напряжений достаточно развита. Определив компоненты $u_1^{(1)}, u_2^{(1)}, \dots, u_n^{(1)}$ вектора $u^{(2)}$ измерением (точнее, отношение этих компонент), можно определить и собственное значение. Найденное соответствующее значение можно уточнить, как это было нами показано [Л. 2]. Если начально заданный вектор u выбрать так, чтобы он был ортогонален первому, уже найденному собственному вектору $u^{(1)}$, то коэффициент $c_1 = 0$. Повторяя все рассуждения, получим для решения $u(t)$ асимптотическое выражение:

$$u(t) \approx c_2 u^{(2)} e^{-\frac{\lambda_2 t}{k}},$$

где λ_2 — следующая по величине за λ_1 абсолютная величина собственного числа, а $u^{(2)}$ — отвечающий ему собственный вектор (или один из собственных векторов). Аналогичным процессом определим $u^{(3)}$ и λ_3 и т. д. Здесь необходимо принять все те дополнительные меры, что и в численном нахождении старших собственных значений методом последовательных приближений.

Нахождение собственных значений и функций дифференциальных и интегральных операторов методом сеток сводится к предыдущей задаче нахождения собственных значений и векторов матрицы¹.

К приведенному здесь методу сводится нахождение собственных значений и функций для интегральных уравнений с симметрическим позитивным ядром:

$$y(x) = \lambda \int k(x, s) y(s) ds;$$

для уравнения Штурма — Лиувилля:

$$\frac{d}{dx} [R(x)y'(x)] + [P(x) + \lambda]y(x) = 0$$

(в этом случае схема рисунка упростится, так как все $b_{ij} = 0$ при $i \neq j, j \pm 1$); для оператора Лапласа

$$\nabla^2 u(x, y) = \lambda u(x, y)$$

и т. д.

Примечание. Если собственные значения λ_1 и λ_2 очень близки, то измеренные значения компонент $u_i(t)$ не будут еще пропорциональны компонентам $u_i^{(1)}$, так как в формуле (5) второй член не будет настолько мал по сравнению с первым, чтобы мы могли перейти от формулы (5) к (6) (при записи, например, с помощью осциллографа мы не получим для напряжений $u_i(t)$ экспоненциальных кривых). В этом случае, умножив измеренные напряжения [компоненты $u_i(t)$] на 100—200, зададим эти произведения, как исходные данные, и повторим процесс вторично.

Литература

1. Л. И. Гутенмахер. Электрическое моделирование — электроинтегратор. Изд. Академии наук СССР, 1943.
2. Труды Математического института Академии наук СССР, вып. XVIII, Изд. Академии наук СССР, 1946.

¹ Достаточно положить, например, компоненты u_p вектора u равными 0 при p , отличном от i и j и,

$$y_i = -\frac{1}{u_i^{(1)}}, \quad y_j = \frac{1}{u_j^{(1)}}.$$


К определению активного сопротивления обратной последовательности в синхронных машинах

Инж. Г. Б. МЕРКИН

Ленинградский институт инженеров связи

Для определения активного сопротивления обратной последовательности в синхронных машинах — r_2 предлагается в схему короткого замыкания двух фаз трехфазной синхронной машины включить два прибора: ваттметр реактивной мощности и амперметр. При этом для турбогенераторов и гидрогенераторов без демпферной обмотки более целесообразно применение схемы рис. 1, а для гидрогенераторов с демпферной обмоткой — схемы рис. 2 [Л. 1].

Для схемы рис. 1 по методу симметричных составляющих, учитывая, что при коротком замыкании фаз B и C $I_a = 0$ и $U_{BC} = 0$, получим следующие уравнения для токов и напряжений:

$$0 = I_1 + I_2, \quad (1)$$

$$I_B = -I_C = a^2 I_1 + a I_2, \quad (2)$$

$$E_o = Z_1 I_1 + Z_2 I_2 + U_A, \quad (3)$$

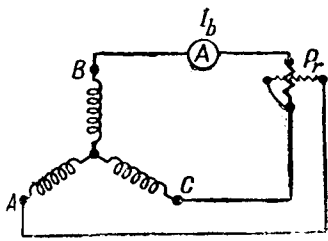


Рис. 1.

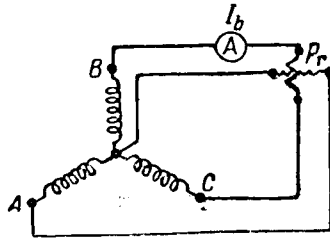


Рис. 2.

$$a^3 E_p = a^2 Z_1 \dot{I}_1 + a Z_2 \dot{I}_2 + \dot{U}_B, \quad (4)$$

$$a E_p = a Z_1 \dot{I}_1 + a^2 Z_2 \dot{I}_2 + \dot{U}_C, \quad (5)$$

$$\dot{U}_B - \dot{U}_C = 0, \quad (6)$$

где I_1 и I_2 — токи прямой и обратной последовательностей; I_B и I_C — фазные токи; Z_1 и Z_2 — комплексы полных сопротивлений обеих последовательностей; U_A , U_B и U_C — фазные напряжения; E_p — фазная э. д. с. холостого хода. Из уравнений (1), (4), (5), (6) получаем:

$$\dot{I}_1 = \frac{E_p}{Z_1 + Z_2}. \quad (7)$$

Следовательно,

$$\dot{I}_B = (a^2 - a) \dot{I}_1 = \frac{(a^2 - a) E_p}{Z_1 + Z_2}. \quad (8)$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{E}_p - Z_1 \dot{I}_1 - Z_2 \dot{I}_2 = E_p - (Z_2 - Z_1) \dot{I}_1 = 2Z_2 \dot{I}_1 = \\ &= \frac{2}{a^2 - a} Z_2 \dot{I}_B, \text{ т. е. } \dot{U}_A = j \frac{2}{\sqrt{3}} Z_2 \dot{I}_B. \end{aligned} \quad (9)$$

В то же время комплекс фазной мощности:

$$\begin{aligned} \dot{P} &= \dot{U}_A \dot{I}_B \text{ или } \dot{P} = j \frac{2}{\sqrt{3}} Z_2 I_B^2 = \left(-\frac{2}{\sqrt{3}} x_2 + \right. \\ &\quad \left. + j \frac{2}{\sqrt{3}} r_2 \right) I_B^2, \end{aligned} \quad (10)$$

следовательно,

$$P_a = \frac{2}{\sqrt{3}} x_2 I_B^2 \text{ и } P_r = \frac{2}{\sqrt{3}} r_2 I_B^2,$$

где P_a — активная мощность, а P_r — реактивная мощность.

Отсюда

$$r_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{P_r}{I_B^2} \quad (11)$$

и, соответственно,

$$x_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{P_a}{I_B^2}. \quad (12)$$

Полученное нами уравнение (11) и служит для определения r_2 .

Уравнение (12) для определения x_2 совпадает, как и следовало ожидать, с уравнением Вагнера-Довжикова [Л. 2].

Литература

1. Л. А. Ломоносова, Е. А. Паль. Опытное определение x_2 трехфазной синхронной машины. Труды ЛИИ, стр. 75, № 5, 1937.
2. С. F. Wagner and A. Dvzjikov. Impedance of a Rotating Synchronous Machine to a Negative Sequence Voltage. El. Eng., p. 117, 1927.



Лампочка накаливания как индикатор для электрических и радиотехнических измерений

Инж. А. И. ФЮРСТЕНБЕРГ

Московский государственный институт мер и измерительных приборов

Автором была обнаружена огромная чувствительность глаза к отклонениям силы тока, нагревающего нить лампочки, которая находится вблизи начального свечения. Это обстоятельство представляет несомненный интерес для измерительной техники. Первоначально производились измерения силы тока и напряжения помощью лампочки в комбинации с переменными шунтами и добавочными сопротивлениями. Как выяснилось впоследствии из патентной литературы, подобная идея была дана раньше W. Burstin [Л. 1].

В предложенном автором методе фиксированных токов [Л. 2, 3] лампочка накаливания является индикатором равенства токов в двух цепях. Применение лампочки в качестве переменного сопротивления в мостиковых индикаторах при прецизионных измерениях было описано автором ранее [Л. 4].

Лампочка накаливания как визуальный индикатор. Для определения чувствительности лампочки, используемой в качестве визуального инструмента, нужно получить зависимость яркости нити от нагревающего ее тока. Яркость при сумеречном зрении дается формулой:

$$B = \frac{1}{M\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J_\lambda V_\lambda d\lambda,$$

где B — яркость нити в стильбах; M — механический эквивалент света, равный $15 \cdot 10^{-4} \frac{w}{L_m}$; λ — длина волны излучения в см; J_λ — монохроматическая интенсивность полусферического излучения абсолютно черного тела; V_λ — коэффициент относительной видности для сумеречного зрения.

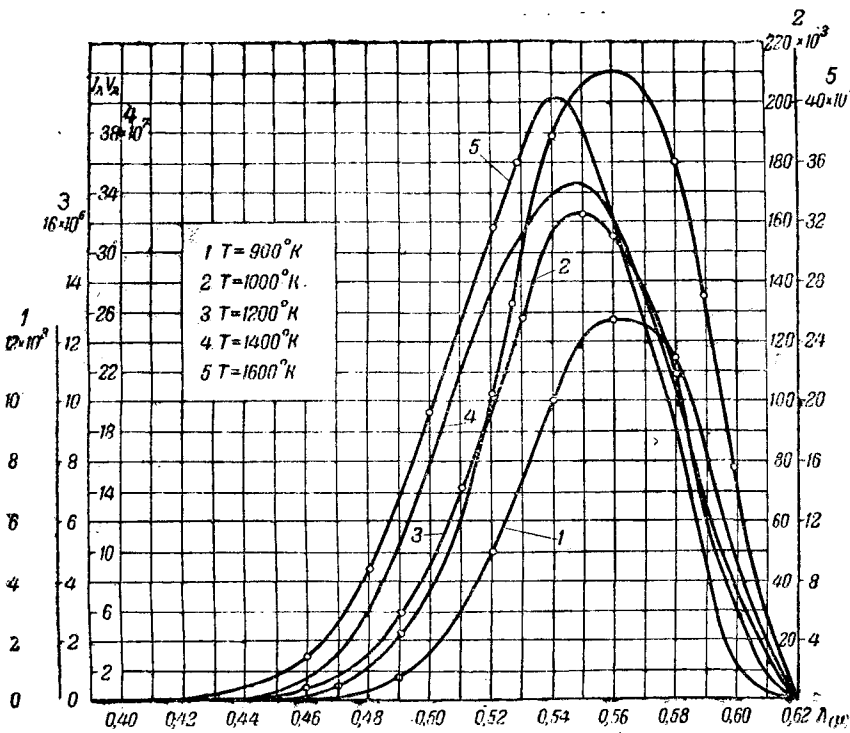


Рис. 1.

Для вычисления J_λ служит формула Вина

$$J_\lambda = C_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}}} \quad (2)$$

Коэффициенты относительной видности для сумеречного зрения взяты по Лекишу и Мусу [Л. 5].

На рис. 1 показаны зависимости $J_\lambda V_\lambda = \varphi(\lambda)$ для ряда значений температуры. Площадь, ограниченная каждой из этих кривых, представляет $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} J_\lambda V_\lambda d\lambda$, т. е. величину, пропорциональную яркости при соответствующей температуре.

Экспериментально полученная зависимость температуры центральной части нити 2,5-вольтовой лампочки накаливания от силы тока приведены на рис. 2 (кривая T_n). На основании рис. 1 и кривой T_n там же построена зависимость яркости нити от силы тока (кривая $\lg B$). Как видно из этой кривой, вблизи начального свечения ($T_n \approx 940^\circ \text{K}$), изменение силы тока на $\pm 0,5\%$ приводит к изменению яркости на $\pm 50\%$. Таким образом, у порога зажигания лампочки имеет место необычайно стремительно растущая зависимость:

$$B \approx KI^{100}, \quad (3)$$

где $K = \text{const}$.

Несмотря на то, что яркость, соответствующая порогу зажигания, определяется визуально с небольшой точностью, погрешность при определении силы тока уменьшается примерно в 100 раз. Показатель степени быстро падает с температурой. Этим объясняется то обстоятельство, что

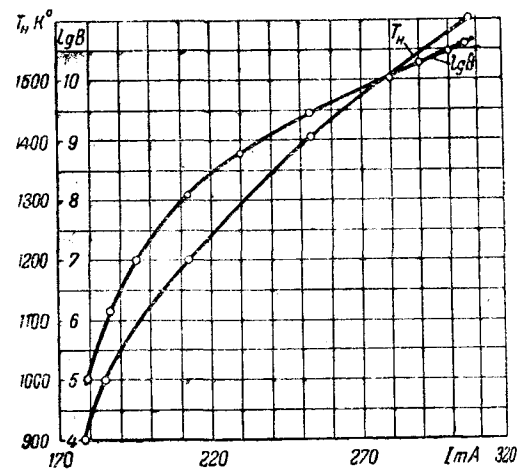


Рис. 2.

обычное фотометрирование по полям сравнения отнюдь не характеризуется столь большой чувствительностью. При фотометрировании по слабому полю уранового состава (через светофильтр) чувствительность падает в 7—10 раз. Наибольший разброс средних значений тока зажигания у 12 лиц, участвовавших в экспериментах, составлял 0,95%.

Большие возможности открывает метод сравнения, при котором с помощью переключаемой лампочки определяется равенство токов в двух цепях. Для того, чтобы определить величину погрешности при сравнении близких по величине токов на равенство помощью лампочки накаливания, был поставлен эксперимент, в котором участвовали 10 специально не подбирившихся наблюдателей. Лампочка переключалась из цепи прецизионного магазина сопротивления в цепь сопротивления строго постоянной величины (100-омное «нормальное сопротивление» завода «Эталон»). Измерения велись при слабом дневном свете без предварительной адаптации. Лампочка помещалась на расстоянии 30 см от глаз в окрашенный черной матовой краской цилиндр, снабженный наглазником. Яркость свечения нити бралась вблизи начального свечения, значительно (по силе тока на 0,1—0,2%) превышая эту величину. При 5 измерениях вероятная погрешность составляла $\pm (0,01—0,03\%)$.

Схема и метод измерения. Метод измерения заключается в установлении равенства токов во включенных параллельно образцовой и измеряемой цепях (рис. 3). Образцовая цепь состоит из переменного безреактивного сопротивления. Помощью двухполюсного переключателя индикатор или эквивалентное ему сопротивление могут быть включены либо последовательно с измеряемым, либо последовательно с образцовым сопротивлениями. Вначале, включив индикатор в цепь Z_x , регулировкой напряжения устанавливают некоторое значение силы тока. Затем, переключив индикатор в образцовую цепь, изменяют сопротивление магазина до тех пор, пока не будет достигнуто первоначальное значение силы тока. Так как при регулировке образцовой цепи изменяется об-

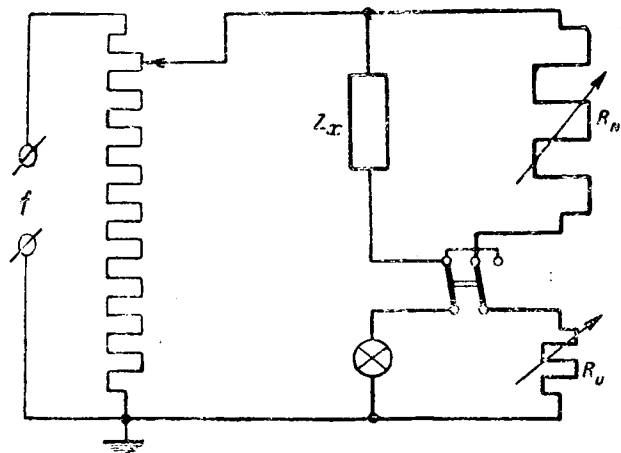


Рис. 3.

щее сопротивление разветвления $Z_x - R_N$, а сила тока в цепях должна быть фиксированной, описанный процесс балансировки нужно повторить еще один или два раза. Постоянство напряжения источника энергии и генерируемой частоты является необходимым условием.

При равенстве токов очевидно, что

$$\bar{Z}_x + \bar{R}_u = R_N + R_u; \quad (4)$$

здесь Z_x — измеряемое полное сопротивление в омах; R_u — сопротивление индикатора в омах и R_N — образцовое сопротивление в омах.

Изложенный метод, дающий возможность сравнивать измеряемое полное сопротивление с образцовым активным, пригоден также и для абсолютных измерений емкости и индуктивности (по сопротивлению и частоте). Кроме того частота может быть измерена по сопротивлению и емкости. В описываемой схеме не требуется полного экранирования соединительных проводов и всех деталей; достаточным является лишь экранирование переключателя и идущих к нему проводов.

Измерение емкости. Если измеряемый конденсатор не имеет потерь, его емкость может быть определена из уравнения

$$\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C_x}\right)^2 + R_u^2} = R_N + R_u,$$

откуда

$$C_x = \frac{1}{\omega \sqrt{R_N^2 + 2R_N R_u}} = \frac{10^{10}}{62\,832 \sqrt{R_N^2 + 2R_N R_u}} [\mu\text{F}]. \quad (5)$$

Погрешности. Рассмотрим погрешность, связанную с наличием в измеряемой емкости активных потерь. Учитываем, что последовательно с идеальным конденсатором включено сопротивление ρ , эквивалентное активным потерям ($\text{tg } \delta = \omega C_x \rho$).

Имеем следующее очевидное равенство:

$$\sqrt{\left(\frac{1}{\omega C_x}\right)^2 + (R_u + \rho)^2} = R_N + R_u,$$

откуда

$$C_x = \frac{1}{\omega \sqrt{R_N^2 + 2R_N R_u - 2R_u \rho - \rho^2}}. \quad (6)$$

Разложив радикалы выражения (5) и (6) в ряд и ограничившись первыми двумя членами, получим:

$$\Delta C_x = \frac{\rho R_u + \frac{\rho^2}{2}}{\omega R_N^3}.$$

Приняв во внимание, что $R_N \approx \frac{1}{\omega C}$ и что $R_N \gg R_u$, имеем:

$$\begin{aligned} \delta_\rho &= \frac{\Delta C_x}{C_x} 100 \approx \left(\frac{R_u}{R_N} \text{tg } \delta + \frac{1}{2} \text{tg}^2 \delta \right) 100\% \approx \\ &\approx \frac{R_u}{R_N} \text{tg } \delta 100\%. \end{aligned} \quad (7)$$

При измерении емкости задаемся $\frac{R_u}{R_N} \leq 0,1$.

Для измерительных слюдяных конденсаторов $\text{tg } \delta$ обычно не превосходит 10^{-3} , что приводит к $\delta_\rho \approx \pm 0,01\%$.

Можно доказать, что изменение сопротивления индикатора на величину ΔR_u приведет к погрешности:

$$\delta_{R_u} = \frac{\Delta C_x}{C_x} 100 \approx \frac{\Delta R_u}{R_N} 100\%. \quad (8)$$

Для уменьшения указанной погрешности измерение сопротивления лампочки в рабочем режиме должно производиться экспериментатором непосредственно в процессе измерений. Вспомогательным переключателем устанавливается идентичная яркость свечения лампочки в цепи R_N и в цепи постоянного тока, в которой измерение R_u производится мостиком или помощью вольтметра и магазина сопротивления. Таким образом, удается уменьшить эту погрешность примерно до $\delta_{R_u} \approx \pm (0,03 - 0,10)\%$.

Колебания частоты источника колебаний, как это видно из выражения (5), непосредственно приводит к аналогичной (но с обратным знаком) погрешности по величине измеряемой емкости,

$$\delta_f = \pm \frac{\Delta f}{f} = \mp \frac{\Delta C_x}{C_x} 100\%. \quad (9)$$

Погрешность, вызванная влиянием обертонов [Л. 6] (увеличение емкости), равна:

$$\delta_{об} = \left[\sqrt{\frac{1 + 4\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 + 9\left(\frac{U_3}{U_1}\right)^2 + \dots}{1 + \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 + \left(\frac{U_3}{U_1}\right)^2 + \dots}} - 1 \right] 100\%. \quad (10)$$

Здесь U_1, U_2, U_3 — амплитуды соответствующих номеров гармоник. Радикальным средством является использование полосного или низко-

| Z_x , Ω | L_x, C_x при $f = 1$ kHz | Тип и количество лампочек | Рабочий ток, мА | Сопротивле- ние индикато- ра, Ω | Отношение $\frac{R_u}{Z_{min}}$ | Мощность генератора, ВА |
|---------------------|-------------------------------------|--|--------------------|--|------------------------------------|-------------------------------|
| 6,3 — 27 | 0,001 — 0,004 Н 25 — 6 μF | 4 лампочки на 2,5 В/0,15 А или 1 лампочка на 2,5 В/0,5 А | 240 | 1,4 | 0,22 | 1,8 |
| 27 — 100 | 0,004 — 0,15 Н 6 — 1,5 μF | 2 лампочки на 2,5 В/0,15 А | 120 | 2,75 | 0,10 | 2 |
| 100 — 400 | 0,015 — 0,06 Н 1,5 — 0,4 μF | 1 лампочка на 2,5 В/0,15 А | 60 | 5,5 | 0,05 | 2 |
| 400 — 6 300 | 0,06 — 1,0 Н 0,4 — 0,03 μF | 1 лампочка на 2,5 В/0,075 А | 16 | 20 | 0,05 | 2,2 |

частотного фильтра с катушками без железа. Пользование поправочными таблицами к магазину сопротивления дает возможность иметь $\delta_{RN} \approx \pm 0,01\%$. Непостоянство переходных сопротивлений контактов оказывает ничтожно малое влияние, так как минимальная величина R_N относительно высока. При использовании безреактивных магазинов сопротивления можно считать, что их полное сопротивление не отличается от омического больше, чем на несколько сотых долей процента для частот, не превышающих 50 kHz. Непостоянство напряжения источника колебаний практически не является серьезной помехой, так как при выполнении предварительной балансировки окончательное сравнение производится в течение нескольких секунд с повторными измерениями, из результатов которых берется среднее.

При клирфакторе генератора порядка 1% или при учете влияния гармоник в том случае, если частота колебаний, а также и сопротивление магазина известны с погрешностью, не превышающей нескольких сотых процента, точность измерения составляет $\pm (0,10 - 0,15)\%$. Предельная точность $\pm 0,05\%$.

Измерение индуктивности. Рекомендуемый метод дает возможность определить результирующее значение индуктивности при данной частоте.

При установлении равенства токов в измеряемой и образцовой цепях имеет место следующее соотношение, дающее возможность определить L_f :

$$V(\omega L_f)^2 + (R_x + R_u)^2 = R_N + R_u,$$

откуда

$$L_f = \frac{1}{\omega} \sqrt{(R_N + R_u)^2 - (R_x + R_u)^2}. \quad (11)$$

Если сопротивление катушки измерено с погрешностью $\pm 0,5\%$, то погрешность, вызванная недостоверным знанием R_x , для обычных конструкций катушек не превысит $\pm 0,02\%$. Сопротивление катушки при частоте 1 000 Hz практически не отличается от сопротивления на постоянном токе. Это дает возможность определить R_x в рабочей схеме, питая ее от аккумуля-

мулятора. При измерениях на более высоких частотах можно также определить R_x в рабочей схеме на данной частоте, настроив катушку в резонанс. Влияние изменения сопротивления индикатора аналогично (8). Уменьшение сопротивления индикатора может быть достигнуто путем параллельного включения нескольких однотипных лампочек на 2,5 В/0,15 А или использования лампочки на 2,5 В/0,5 А. Шунтирование лампочки постоянным сопротивлением недопустимо вследствие уменьшения чувствительности. Непостоянство переходного сопротивления контактов в магазине сопротивления и переключателей сказывается тем сильнее, чем меньше измеряемая индуктивность. При $L_x = 10^{-3}$ Н погрешность имеет порядок $\pm (0,01 - 0,02)\%$. Влияние оборотов меньше, чем в случае измерения емкости, а именно:

$$\delta_{об} = \left[\sqrt{\frac{1 + \left(\frac{U_2}{U_1}\right) + \left(\frac{U_3}{U_1}\right)^2 + \dots}{1 + \frac{1}{4}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 + \frac{1}{9}\left(\frac{U_3}{U_1}\right)^2 + \dots}} - 1 \right] 100\%, \quad (12)$$

Пределы измерения и мощность генератора. Наибольшее значение измеряемого полного сопротивления ограничивается примерно 6 500 Ω при индикаторе, потребляющем 16 мА и генераторе мощностью 2W. Следует отметить, что стандартные лампочки на 2,5 В/0,075 А имеют ток зажигания в пределах 20—30 мА. Кратковременным перекалом удается снизить ток зажигания лампочки на 20—25%.

Распределение пределов измерения, числа и типа применяющихся лампочек приведено в помещенной выше таблице.

Литература

1. W. Burstin. DRP № 495729, 1930.
2. А. И. Фюрстенберг. Заявка в Комитете по делам мер и измерительных приборов от 22 апреля 1944 г.
3. А. И. Фюрстенберг. Доклады Академии наук СССР, т. 48, № 1, 1945.
4. А. И. Фюрстенберг. Электричество, № 10, 1945.
5. M. Luciesh, F. Moos. The science of sealing, 1935.
6. E. Rosa, F. Grover. Bull. Bur. of standards, 1905.



К статье В. А. Голубцовой

„ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ“

(Электричество, № 4, 1946 г.)

Ниже публикуется в сокращенном изложении окончание¹ дискуссии по статье директора Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова инж. В. А. Голубцовой вместе с заключительными замечаниями автора.

В дискуссии приняли участие деятели науки, профессора высших технических учебных заведений, инженеры заводов электропромышленности и энергосистем, работники Министерства электростанций и Министерства электропромышленности. Участники дискуссии подтвердили важность и актуальность поднятых в статье В. А. Голубцовой вопросов высшего энергетического образования и дополнили основные положения статьи новыми и ценными предложениями. Материал дискуссии, представляющий интерес для широкого круга читателей журнала «Электричество», предлагается также вниманию Министерства высшего образования и других заинтересованных учреждений в целях разработки мероприятий, направленных к улучшению дела подготовки инженерных кадров для энергетики.

Доктор техн. наук, проф.

Л. И. СИРОТИНСКИЙ

Московский энергетический институт им. Молотова

Основное внимание на электротехнических факультетах должно быть уделено углубленному изучению дисциплин, являющихся фундаментом инженерного образования: физики, химии, математики, механики, сопротивления материалов, графики, теории машин и механизмов, машиноведения, материаловедения, теоретических основ электротехники, электрических машин. Важно серьезное изучение иностранного языка (хотя бы одного) и предметов гуманитарного и социального цикла.

Для всех ясно, что школа не может сформировать специалиста, ибо специалист создается упорной, повседневной работой в течение десятка лет в избранной узкой области. Никто, повидимому, не считает целесообразным излишне загружать внимание и время учащегося чрезмерно детализированными схемами, конструкциями, правилами и инструкциями эксплуатации, рецептурными решениями технических вопросов и пр. Говоря о новой технике, большинство имеет в виду не столько описание новейших многообразных достижений техники, сколько изучение новых тенденций и методов. Не менее общепризнано, что школа не должна быть только передатчиком знаний, хотя бы и самых новейших и на сегодняшний день весьма важных. Главная задача школы — развитие в студентах их природных способностей и инициативы, любознательности, любви к эксперименту и настойчивости в его проведении, понимания общности научных положений, важности правильного моделирования и, наконец, внедрение в сознание студента отчетливого представления о той важной роли, которую инженер должен играть в развитии и прославлении своей социалистической родины.

С внешней стороны работа студента как будто разумно регламентирована: 36 час. в стенах учебного заведения при строго определенном учебном плане, твердом графике распределения лекций, упражнений, лабораторий и сроков сдачи домашних заданий; содержание лекций расписано по часам; студенты старательно заносят в конспекты самое важное, что способствует усвоению лекций и облегчает повторение основ предмета без книг; домашняя работа студента также расписана по часам и деканы точно определяют, какая часть студенческого домашнего времени принадлежит данному предмету. Такой строго регламентированный режим предъявляет высокие требования ко всем

звеньям школьной организации и особенно к деканатам, профессорам, преподавателям и дирекции.

Практика показывает, что эти высокие требования к системе не выполняются и ее отрицательные стороны получают свободное развитие. Регламентация оказывается недостаточно продуманной, ее творческие возможности отступают на второй план, студент теряет инициативу, время его растрачивается, появляются прорехи, экзаменационная и зачетная сессии принимают характер штурмовщины. Едва ли эту систему, при учете имеющихся налицо средств, можно надеяться исправить. Напрашивается переход на более свободный режим студента. Поэтому предложение В. А. Голубцовой предоставить студенту от одного до двух дней свободных от обязательного посещения института я считал бы совершенно необходимым, но недостаточным. Мне кажется, что трех, безусловно обязательных для студента дней, т. е. 18 час. в неделю, было бы достаточно. Это, однако, совсем не значит, что студент только три раза в неделю посетит институт. Свободная запись на занятиях в лабораториях, мастерских, кабинетах, в кружках и семинарах, свободные небольшие группы экскурсий, работа в библиотеках и пр., вероятно, привлекут многих студентов, особенно не имеющих подходящей домашней обстановки, к почти ежедневному посещению института. Воспитательные возможности профессором и преподавателей получат полный простор.

Я вполне согласен с В. А. Голубцовой, что лекциям не следует отводить слишком много часов в учебном плане и требовать от лектора изложения всего материала программ. Это вернет лекциям то значение, которое им должно быть присуще: направит внимание студента на работу с книгой, позволит поручать лекции только наиболее квалифицированным преподавателям и повысит их ответственность перед аудиторией. Возможно, что первоначально лекции могут быть и обязательными для студента, однако в дальнейшем они должны посещаться свободно, а их непосещаемость должна быть предметом заботы заведующего кафедрой.

Инж. А. В. КОНДАКОВ

Изэнерго

Инженер-энергетик, как и всякий советский инженер, должен быть руководителем и организатором сверенного ему участка работы. Поэтому недостаточно самостоятельно, грамотно и инициативно разрешать действительно инженерные вопросы на производстве (из статьи В. А. Голубцовой), а надо уметь находить и ставить эти вопросы перед собой и руководимыми работниками. Чтобы руководить производством, двигать вперед

¹ Начало см. № 8, 1946.

технику, инженер должен в первую очередь знать и уметь проводить в жизнь политику советского государства, знать экономику народного хозяйства и конкретную экономику, например, энергетики или электропромышленности, знать советские законы. Исключительно важное значение поэтому имеет общая и действенно-политическая и экономическая подготовка, которую инженер должен получить за время своего пребывания в высшей школе и которую он обязан непрерывно повышать в дальнейшем.

Далее, со всей остротой следует поставить вопрос о существующей производственной практике. Как правило, производственная практика в настоящее время сводится к заполнению студентами статистических отчетов о выделенном и услышанном на производстве, — отчетов, составляемых по обязательной программе и стандартным образцам. Необходимо внести коренное изменение в организацию производственной практики. Производственная практика должна быть приближена действительно к производственной обстановке, с полной ответственностью студента за выполняемую им во время практики производственную работу. Правильно поставленная работа студента на производстве должна формировать его общественный облик и профессиональные наклонности.

Доктор техн. наук, проф. С. А. РИНКЕВИЧ

*Ленинградский электротехнический институт
им. Ульянова (Ленина)*

Следует особенно поддержать введение определенных часов самостоятельной работы студента в плане 5 700 академических часов. Для повышения эффективности домашней самостоятельной работы студента необходимо систематически воспитывать в нем — будущем инженере — чувство времени.

Система оценки, при введении свободных дней для самостоятельной работы студента, должна быть изменена — она должна быть комплексной, с учетом не только качества работы, но и не менее важного фактора — степени законченности работы в заданный срок или достоянности выполнения.

Предлагаемое уменьшение удельного веса лекций и соответствующее изменение их содержания найдет общую поддержку; однако, сокращение следует осуществлять лишь после расширения издательской базы Министерства высшего образования, так как в настоящее время ряд высших учебных заведений лишен издательской базы. При институтах, богатых многолетней культурой, необходимо разрешить организацию кинобаз, которые могли бы выполнять технические кинокартины собственными средствами. Такие картины служили бы весьма мощным научным и учебно-вспомогательным средством.

Следует урегулировать финансирование государственных научных работ. Ежегодно составляемые высшими учебными заведениями планы этих работ реализуются в незначительном проценте из-за недостатка средств. Между тем, эти работы имеют не меньшее значение для роста кадров, чем договорные, так как они нередко являются экспериментальной частью диссертационных работ молодых ученых.

Вопросы, поднятые в статье В. А. Голубцовой, настолько существенны, что оправдала бы созыв конференции и родственных высших технических учебных заведений.

Доктор техн. наук, проф. В. К. ПОПОВ

*Ленинградский политехнический институт
им. Калинина*

Недавно в некоторых главках отдельных министерств выявилась неправильная тенденция: готовить электриков и энергетиков для отдельных отраслей промышленности в отраслевых технологических вузах — текстильных, бумажных и т. д. Для осуществления этого потребовалось бы создание в этих учебных заведениях большого числа новых, вполне современных электротехнических лабораторий, при-

влечение в них новых преподавательских кадров по электро, технике. В целях подготовки специалистов для разных отраслей энергетики необходимо повысить использование старых вузов располагающих опытными научными преподавательскими кадрами и лабораторным оборудованием, и вообще пересмотреть сеть вузов.

Недостаточно конкретно поставлен в статье В. А. Голубцовой вопрос об объеме учебника. Объем зависит от числа часов учебного плана по предмету и характера предмета. Иногда 10 страниц с графическими иллюстрациями, схемами, диаграммами могут быть изучены быстрее, чем 3 страницы учебника, при изложении того же материала без этих иллюстраций. Большие учебники с объемом в 60—70 печатных листов должны издаваться лишь для курсов с большим числом часов. Студенты должны иметь возможность приобретать учебники специальных курсов в личную собственность, чтобы и по окончании высшей школы, уезжая на производство, они могли ими пользоваться.

Доктор техн. наук, проф.

Л. И. ГУТЕНМАХЕР

Энергетический институт им. Кржижановского Академии наук СССР

В настоящее время имеется возможность воспроизводить на электрических искусственных моделях все встречающиеся в учебных курсах основные физические явления в самых различных областях — теплотехнике, аэрогидродинамике, строительной механике, радиотехнике и пр. Однако, пока — это достояние только Академии наук СССР и очень немногих научно-исследовательских организаций. Применения же этого метода в учебно-педагогическом процессе (что было кстати рекомендовано Президиумом Академии наук СССР в 1940 г.) могло бы изменить положение. Самые сложные и трудно усваиваемые студентами понятия о дивергенции и роторе, собственных числах и функциях, конформных отображениях, многолистных поверхностях, функциях Грина, вопросах устойчивости и т. п. становятся при методе электрического моделирования весьма ясными и легко изучаемыми, причем каждый студент может довольно быстро научиться исследовать на этих простых в обращении моделях весьма сложные физические явления в пространстве и времени.

В научных и учебных центрах США разрабатываются специализированные математические машины и модели, названные там анализаторами. В Массачусетском технологическом институте, в Гарвардском, Колумбийском и других университетах эти анализаторы широко применяются. К сожалению, несмотря на наличие ряда новаторских работ в Советском Союзе, в частности по развитию электроинтеграторов, учебные заведения и в том числе Московский энергетический институт им. Молотова, не применяют этих новых скоростных методов исследования и расчета. Уместно напомнить, что академик А. Н. Крылов неоднократно подчеркивал большую роль работ по электрическому моделированию и созданию новых математических машин — анализаторов. Он считал, что они должны способствовать повышению культурного уровня в науке и технике.

Доктор техн. наук, проф.

К. А. АНДРИАНОВ

Всесоюзный электротехнический институт

Доктор техн. наук, проф.

А. С. ЗАЙМОВСКИЙ

*Научно-исследовательский институт Министерства
электропромышленности СССР*

Чрезвычайно важным вопросом является подготовка специалистов — электроматериаловедов. Анализ современного этапа развития электроэнергетики и электрификации всех областей народного хозяйства показывает, что прогресс в конструировании и произ-

водстве электрических машин, аппаратов, приборов, агрегатов и т. д. в огромной степени связан с достижениями в области электротехнических материалов: изоляционных, магнитных, полупроводниковых и проводниковых. Современный инженер-электрик, научный работник, конструктор и технолог сталкиваются с огромным числом самых разнообразных по структуре, свойствам и технологии производства электротехнических материалов и изделий из них. Даже только для того, чтобы уметь правильно выбрать и применить в конструкции тот или иной материал, необходимо солидное знакомство со свойствами, номенклатурой и технико-экономическими характеристиками материала. Во много раз более сложная задача стоит перед технологами-электриками, которые должны заниматься вопросами производства и применения этих материалов.

Необходимо в ведущих электроэнергетических учебных заведениях создать крупные кафедры электроматериаловедения.

Кандидат техн. наук Б. Б. ГЕЛЬПЕРИН
Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

Интенсивность работы студента в высшей школе в настоящее время значительно ниже, чем инженера на производстве. Это является совершенно ненормальным и приводит к тому, что молодой инженер по окончании высшей школы стремится не на производство, а в учреждения, где работа легче. Работа инженера на производстве заставляет его непрерывно квалифицироваться, поэтому бюджет времени инженера составляет: 8 час. в день (не менее) — на производстве и несколько часов — над совершенствованием своих знаний: изучением новой техники, журнальных статей и т. д. В связи с этим нужно, чтобы бюджет рабочего времени студента составлял бы также 11—12 час. и, следовательно, занятия в высшей школе должны занимать не 6, а 8 час., оставляя остальное время на домашнюю проработку. В этом случае, срок обучения в высшей школе без снижения по качеству можно было бы сократить с 5,5 до 4 лет. Сокращение срока обучения студентов тем более необходимо, что промышленность испытывает сейчас острый недостаток в инженерных кадрах; кроме того, сокращение срока значительно сократит стоимость подготовки инженера.

Учебный план должен быть построен так, чтобы дать студенту очень сильную теоретическую базу. Для энергетиков необходим углубленный курс математики с включением в него таких разделов, как операционный метод, векторный и тензорный анализ, вариационное исчисление, теория вероятностей и ошибок и т. д. Нужно дать также хорошо развитые курсы электротехники, теоретической механики, теории электрических машин, электрических измерений и др. На эти основные дисциплины, формирующие теоретическую базу специальности, надо выделить наибольшее число часов.

Проф. А. Я. БЕРГЕР
Завод «Электросила» им. Кирова

Предлагаемые В. А. Голубцовой ежегодные курсы для повышения квалификации инженеров (и преподавателей провинциальных технических учебных заведений) недостаточны. Нужно в ведущих высших учебных заведениях иметь специальные, работающие круглый год, факультеты по повышению квалификации инженеров. На крупнейших заводах можно вести повышение квалификации в сильных ведущих инженеров и консультантов заводов, но под общим руководством специального факультета ведущего учебного заведения.

Осуществленное инженером повышение квалификации должно найти отражение в его трудовой книжке и в его оплате, как это имеет место в некоторых других ведомствах.

Доц. Б. Л. БАЛАШИНСКИЙ

Электроламповый завод

Планирование подготовки кадров должно вестись не только по группам: техники и инженеры, как это указано в статье В. А. Голубцовой, но должно проводиться также в разрезе отдельных специальностей. С предлагаемым уточнением соотношения между числом техников и инженеров, исходя из соображений экономики, согласиться трудно. Наличие максимального количества технического персонала с высшим образованием, независимо от занимаемой должности, всегда будет способствовать более эффективной работе предприятий и оправдывает расходы, понесенные на подготовку кадров. Авторитет звания инженера вряд ли нарушится, если молодые инженеры, приобретая производственный опыт, начинают свою карьеру с должности техника и продвигаются дальше в зависимости от своих способностей и знаний.

Инж. П. И. ВАСИЛЕНКО
Гидроэнергопроект

Для того, чтобы инженеры по окончании высшей школы хорошо владели своей специальностью и находились на современном уровне науки и техники, необходимо, чтобы каждое высшее техническое учебное заведение стремилось создать творческую инженерно-педагогическую организацию, отличающуюся самостоятельным стилем обучения и развития общей культуры своих студентов. Из истории высшей школы известно, что различные учебные заведения отличались одно от другого уровнем своей работы и, в зависимости от наличия тех или иных научных и педагогических кадров добивались различных результатов в подготовке студентов.

К предложению В. А. Голубцовой об уменьшении нагрузки студента в институте и предоставлении ему большей самостоятельности в распределении своего времени, необходимо внести существенную поправку. Школа есть школа. Она должна направлять студента, должна суметь выковать из него инженера, должна нести ответственность за то, чтобы студент провел в ней 5 лет лучшей поры своей жизни с максимальной пользой для государства и надежными результатами. Учебное заведение должно вести студента на протяжении всей его работы и довести его до состояния готовности стать инженером. Распределенные лекции, лабораторных занятий, упражнений и консультаций, учебники, библиотека — все это ежедневно должно быть в поле зрения руководителя учебной части. Поэтому, по нашему мнению, в плане работы высшего учебного заведения не должно быть ничего необязательного. Нужно дать известное число часов, которыми студент мог бы располагать свободно по своему усмотрению, извлекая из этого пользу по своим способностям. Но ни в коем случае нельзя встать на путь необязательности посещения лекций, лабораторий, упражнений и тому подобных занятий, предусмотренных учебным планом.

Инж. В. А. ГОЛУБЦОВА
Директор Московского Ордена Ленина энергетического института им. Молотова

В заключение обсуждения моей статьи о подготовке инженерных кадров считаю необходимым отметить, что в дискуссии были затронуты многие важные вопросы высшего энергетического образования, имеющие значение для дальнейшего развития подготовки специалистов для энергетики. Основные положения моей статьи не встретили серьезных возражений, а потому ограничусь отдельными замечаниями.

Мнение о чрезмерной нагрузке студентов разделяют, по видимому, многие (С. А. Ринкевич, Л. И. Сиротинский, А. А. Глазунов и др.). Поскольку этот вопрос требует обязательного разрешения, мне хотелось бы еще раз подчеркнуть, что основной корень зла заключается в том, что при составлении учебных планов и программ до сих пор учитывается только время, затрачиваемое студен-

том в высшем учебном заведении, и не учитывается домашняя работа студента. Это — главное обстоятельство, которое приводит к вредной перегрузке.

В связи с вопросом о времени работы студента следует остановиться на высказывании Б. Б. Гельперина, который приводит не лишнюю справедливую мысль о недостаточной интенсивности работы студента в высшей школе, но допускает совершенно неправильный вывод о необходимости увеличения бюджета рабочего времени студента до 11—12 час. Б. Б. Гельперин сравнивает при этом нагрузку инженера на производстве с нагрузкой студента. Сравнение — неверное! Б. Б. Гельперин забывает, очевидно, что на производстве мы имеем дело с уже сложившимися взрослыми людьми, в то время как в высшей школе идет речь о молодежи, которую нужно не только обучить, но и воспитать. Студенту должны быть привиты не только специальные знания, но и дано соответствующее общественно-политическое развитие; в этой связи следует отметить правильность замечаний А. В. Кондакова, подчеркнувшего важность идейно-политической подготовки студента для его будущей инженерной деятельности. Студент должен также получить физическую подготовку и усвоить те общие принципы поведения и культуры, которыми он должен обладать к моменту перехода на производство. Следовательно, нельзя занятиям в школе и домашней работе отводить 12 час. Интенсивность работы студента в высшей школе должна быть повышена, главным образом, за счет активной методики преподавания.

И. Н. Бутаков, основываясь на прошлом опыте, считает излишним предоставление студентам 1—2 дней свободных от обязательного посещения института, полагая, что эти дни превратились бы в дополнительный отдых. Необходимо отметить, что эти 1—2 дня не мыслятся как «вообще свободные дни», а только как дни, свободные от посещения института, как дни загруженные самостоятельной работой студента по заданному плану и с определенным содержанием. Опыт прошлого потому оказался неудачным, что тогда никакой организационной основы под это мероприятие не было подведено. Мы имеем в виду, что тщательно продуманные задания для самостоятельной работы студентов в эти 1—2 дня и тщательно поставленный контроль со стороны профессуры за результатами самостоятельной работы студентов устранят возможность превращения этих дней в дни отдыха.

Требование Ю. С. Кронгауза, чтобы производственная практика проводилась на предприятиях,

не исключает высказанного нами требования о современном производственном оборудовании для институтов. Эти требования полезно друг друга дополняют. Современное оборудование в институтах необходимо для систематического закрепления в ходе всего учебного процесса путем практического ознакомления с оборудованием теоретических познаний, приобретаемых студентами. Это знакомство с оборудованием в высшей школе подготовит студента к эффективному прохождению производственной практики; сейчас можно наблюдать, как часто возникают у проходящих практику студентов трудности из-за незнания в натуре с целым рядом приборов, машин, станков, о которых у студентов были лишь одни теоретические познания, иногда сопровождаемые рассмотрением схематичных рисунков или фотографий. Кроме того, наличие должной производственной базы в институтах даст возможность включать элементы эксперимента в курсовые проекты и создать условия для научно-исследовательской работы студентов.

Интересное предложение Э. А. Мееровича о чтении одного курса параллельным потоком двумя лекторами едва ли можно считать в настоящих условиях реальным ввиду ограниченного количества высококвалифицированных педагогических кадров в системе энергетических вузов.

С предложением А. А. Глазунова о создании общетехнических факультетов можно согласиться, но в условиях, например, Московского энергетического института или Молотова, где число студентов первых двух курсов достигает 2300 чел., следует ставить вопрос об организации двух общетехнических факультетов: одного, объединяющего электротехнические специальности, и другого — энергетические специальности.

Высказывания и предложения Л. И. Гутенмахера — о внедрении моделирования, Н. Н. Щедрина и Б. М. Тареева — об оснащении высшей школы измерительной техникой и обучении студентов технике вычислений, С. А. Рякевича — об увеличении госбюджетных научных работ, П. И. Василенко — о лабораторной базе и ряд других высказываний, — могут быть всемерно поддержаны.

Б. Б. Гельперин предлагает сократить число дисциплин. Если это понимать не просто как одно сокращение, а как укрепление ряда дисциплин, то с таким предложением можно согласиться.

В заключение хочу выразить благодарность всем лицам, приславшим замечания по моей статье и дополнившим ее ценными предложениями.



К статье В. А. Трапезникова

„ОБОБЩЕННЫЕ УСЛОВИЯ СОРАЗМЕРНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН“

(Электричество, № 2, 1946)

Доктор техн. наук, проф.

В. А. ТРАПЕЗНИКОВ

1. Ответ на замечания инж. Н. И. Булгакова¹.
Н. И. Булгаков подвергает сомнению понятие „приведен-

ная стоимость“ ($C' = C p^y$), положенное в основу нашей работы. Он утверждает, что приведенная стоимость непригодна для сравнения моделей даже одной и той же мощности, так как она не учитывает распределения потерь между медью и сталью ($\xi = \frac{P_m}{P_c}$).

Иллюстрируя необходимость учета величины ξ , Н. И. Булгаков сравнивает два варианта расчета трансформаторов, имеющих различное значение ξ и доказывает элементарную истину, что меньшее значение ξ приводит к более дешевому трансформатору (попутно заметим, что ход рассуждений Н. И. Булгакова довольно своеобразен: чтобы доказать преимущества первого варианта перед вторым, он предлагает третий вариант, имеющий преимущества и перед первым и перед вторым).

¹ Электричество, № 9, 1946.

Утверждение Н. И. Булгакова о невозможности использования приведенной стоимости для сравнения моделей с различными значениями ξ — ошибочно. Для сравнения таких моделей нужно лишь привести их к одинаковому значению ξ , что можно сделать, например, следующим образом:

При изменении нагрузки, потери трансформатора (p), выраженные в процентах, изменяются согласно уравнению

$$p \equiv \frac{1 + \xi}{\xi^{1/2}}.$$

Следовательно, если даны две модели со стоимостями C_1 и C_2 , потерями p_1 и p_2 и отношением потерь в меди и стали ξ_1 и ξ_2 , то их приведенные стоимости C'_1 и C'_2 могут быть сопоставлены по формуле:

$$\frac{C'_2}{C'_1} = \frac{C_2}{C_1} \cdot \left[\frac{p_2 (1 + \xi_1) \xi_2^{1/2}}{p_1 (1 + \xi_2) \xi_1^{1/2}} \right]^x \quad (1)$$

Влияние распределения потерь ξ на стоимость моделей C_1 и C_2 при одинаковом совершенстве конструкций (что характеризуется равенством приведенных стоимостей

$C_1 = C_2$) и при равенстве их к. п. д. ($p_1 = F_2$), найдем подставив в (1) коэффициенты ξ_1 и ξ_2 . Легко увидеть, что при $\frac{x}{y} = 3$, результат расчета согласно (1) получается таким же, как и при расчете по формуле, применяемой Н. И. Булгаковым.

Следовательно, утверждение Н. И. Булгакова о невозможности сравнения моделей с различным распределением потерь (ξ) — ошибочно.

Далее Н. И. Булгаков говорит о невозможности использования понятия приведенной стоимости для оценки всего ряда моделей, а отсюда приходит к заключению о недопустимости применения этого понятия при выводе обобщенных условий соразмерности. Обосновывая это положение, он пишет: „Оценка приведенной стоимости другой предлагаемой модели может быть сделана если дан ее ряд. Отдельно взятые модели разных рядов, но одной и той же мощности, без разработки обоих рядов не сравнимы, как это было показано выше“.

Поскольку это замечание Н. И. Булгакова основывается на его предыдущем утверждении, несостоятельность которого нами доказана, то и оно также является ошибочным.

Не имея возможности более подробно остановиться на этом вопросе, отсылаем интересующихся к нашим прежним работам.

Далее, обобщенные условия соразмерности позволили нам придти к выводу, что оптимальная геометрия модели не зависит от распределения потерь между медью и сталью (ξ). Этот вывод Н. И. Булгаков называет „явным недоразумением“, считая, что при получении уравнений соразмерности значение ξ было принято постоянным, а поэтому якобы исключилось при дифференцировании.

Н. И. Булгаков вновь неточен в своих рассуждениях: при выводе уравнений соразмерности, ξ под символ дифференцирования не попадает.

Отсутствие ξ в уравнениях соразмерности показывает, что оптимальная геометрия, то-есть соотношение размеров, не зависит от величины ξ (без учета влияния вторичных факторов, как-то: насыщения стали, условий охлаждения, напряжения короткого замыкания и т. п.). Абсолютные же размеры трансформатора при заданной его мощности и заданных общих потерях возрастают при увеличении ξ , как это и видно из (1).

2. Ответ на замечания доктора техн. наук, проф. Ю. С. Чечета². Профессор Ю. С. Чечет указывает, что теория приведенной стоимости в основном применима лишь к трансформаторам. Это замечание неверно.

Понятие приведенной стоимости позволяет анализировать не только трансформаторы, но и вращающиеся машины, оценивая совершенство реальных конструкций и устанавливая оптимальные соразмерности их отдельных элементов (длины пакета стали, высоты зубцов, ярма и т. п.). Однако, рассматривая трансформаторы, в силу простоты их геометрических форм, можно пользоваться аналитическими зависимостями, тогда как при анализе вращающихся машин приходится использовать графоаналитические методы.

При выводе понятия о приведенной стоимости нами принято постоянно отношения электромагнитных нагрузок $\left(\frac{B}{\Delta} = \text{const}\right)$. Проф. Ю. С. Чечет подвергает сомнению закономерность такого допущения, поскольку требования перегрузочной способности и охлаждения заставляют изменять соотношения $\frac{B}{\Delta}$ на протяжении ряда.

Это замечание справедливо, однако оно не нарушает возможности использования понятия приведенной стоимости

при анализе вращающихся машин. Действительно, на протяжении „реального“ ряда машин соотношения $\frac{B}{\Delta}$ и $\frac{AS}{B}$ отклоняются от условий идеальных рядов, но эти отклонения учитываются показателем степени $\frac{x}{y}$, также изменяющимся на протяжении ряда.

Несмотря на переменный характер величин $\frac{x}{y}$, $\frac{B}{\Delta}$ и $\frac{AS}{B}$, приведенная стоимость вполне может быть использована для анализа вращающихся машин, так как анализ ведется по участкам ряда, на протяжении которых отношения $\frac{B}{\Delta}$, $\frac{AS}{B}$ и $\frac{x}{y}$ сохраняются практически неизменными.

3. К замечаниям проф. С. А. Погожева² Проф. С. А. Погожев отмечает, что для трансформаторов с круглыми катушками принятое нами деление обмотки на медь ядра и лобовых частей неудобно. Взяв за основу условие минимума приведенной стоимости и не разделяя медь ядра и лобовых частей обмотки, он находит оптимальную соразмерность обмотки с круглыми катушками.

Соглашаясь с формулой С. А. Погожева, заметим, однако, что и при делении круглой обмотки на медь ядра и лобовых частей можно найти оптимальное решение. В этом случае вопрос об оптимальной соразмерности лобовых частей вообще отпадает, так как отношение стоимости меди лобовых частей к стоимости меди ядра

$$\delta = \frac{C_0}{C_{м.я}}$$

предопределяется формой катушек.

Таким образом остаются лишь два условия оптимальной соразмерности: ядра и ярма. Их совместное решение позволяет найти оптимальные соразмерности всего трансформатора.

4. К замечаниям инж. С. И. Рабиновича (Электричество, № 6, 1946). Иллюстрируя разницу между обобщенными и частными (Видмар) условиями соразмерности ядра, мы указали, что при соотношении стоимостей единицы объема обмотки и стержня равном 10, трансформатор построенный по Видмару окажется в 2 раза дороже оптимального. Инж. С. И. Рабинович подвергает это сомнению, полагая, что влияние лобовых частей и ярма уменьшает влияние несоблюдения соразмерностей ядра и поэтому конечный эффект он считает значительно меньшим. Между тем, общий анализ и расчеты показывают, что лобовые части и ярмо лишь незначительно изменяют эффект от несоблюдения обобщенного условия соразмерности ядра. Этим и объясняются приведенные нами цифры.

Большинство замечаний всех высказавшихся вызвано тем обстоятельством, что в нашей работе изложены лишь основные уравнения соразмерности, без их совместного решения. Вследствие этого не создано полного представления о возможностях использования предлагаемой методики.

Результаты совместного решения уравнений соразмерности в сопоставлении с данными реальных трансформаторов изложены в отдельной работе, подготовленной к опубликованию.

В заключение необходимо отметить, что сделанные по статье замечания обратили внимание автора на положения, недостаточно полно и ясно им изложенные, и будут учтены в последующих работах.

²Электричество № 9, 1946.



Никола Тесла

(1856—1943)

К 90-летию со дня рождения

В текущем году исполнилось 90 лет со дня рождения одного из крупнейших деятелей в области науки об электричестве, а также в области электротехники и радиотехники, Николы Теслы, работы которого по созданию многофазного электродвигателя и по токам высокого напряжения и высокой частоты оказали огромное влияние на технический прогресс и явились основой для возникновения целых отраслей электропромышленности.

Никола Тесла родился 10 июля 1856 г. в семье священника сербского селения Смеляны, недалеко от Адриатического побережья. После окончания реального училища Тесла успешно закончил высшую техническую школу в городе Граце в Штирии и поступил на службу в Будапеште в качестве телеграфного надсмотрщика правительственного телеграфа. Уже на первых порах ему удалось внести в телеграфную аппаратуру некоторые улучшения. Несмотря на достигнутые успехи, Тесла пренебрег завидной в то время карьерой инженера в электротехнической службе телеграфа и решил поступить в Пражский университет, чтобы получить теоретическую базу для углубленного анализа электротехнических проблем. По окончании университета Тесла переехал во Францию и там, на службе в «Континентальной компании Эдисона», занялся монтажом электрооборудования на строившейся тогда центральной электрической станции в городе Страсбурге. Ведя повседневную однообразную работу по выполнению чужих технических заданий, Тесла пришел к мысли о переезде в Америку, где он рассчитывал найти приложение некоторым созревшим уже у него конструктивным идеям и получить средства для их дальнейшего развития. Это намерение Тесла осуществил в 1884 г.

В США Тесла поступил на работу в лабораторию Эдисона недалеко от Нью-Йорка. На Эдисона Тесла произвел хорошее впечатление своим отношением к научно-исследовательским опытам и исключительной работоспособностью. Как и Эдисон, Тесла проводил за работой 16—18 час. подряд и иногда по целым суткам не покидал своего рабочего места в лаборатории. Однако, вскоре обнаружилось принципиальное различие в работе и в устремлениях этих двух выдающихся изобретателей. Отдаваясь целиком изобретательству, Эдисон стремился осуществить как можно больше различных изобретений и немедленно реализовать их для укрепления своих материальных ресурсов; Тесла же больше всего стремился к



изучению основных проблем науки об электричестве, ища одновременно разрешения сложных вопросов электротехники. Эдисон посмеивался над «философствованием» своего помощника, стараясь умерить его поиски новых путей в науке. Проработав у Эдисона около года, Тесла расстался с ним.

В 1886 г. (через год после опубликования работы Феррариса) Тесла сконструировал двухфазный асинхронный двигатель. В этот период в США шла борьба между сторонниками постоянного и переменного тока. Возглавляя фирму, которая построила первые электрические станции в Нью-Йорке с оборудованием постоянного тока, Эдисон всячески противился введению в практику переменного тока, тогда как Джордж Вестингауз стоял во главе сторонников введения переменного тока. Полемика между сторонниками постоянного и переменного тока широко освещалась в мировой электротехнической печати того периода, и в журнале «Электричество» были напечатаны статьи Эдисона и Вестингауза.

Изобретенный Николой Теслой асинхронный двигатель для переменного тока как раз пришелся ко времени, и Вестингауз, закупив все патенты Тесла, пригласил его на службу на свой завод. После продажи патентов Тесла стал самостоятельным человеком и вместе с тем одним из самых популярных изобретателей того времени

не только в США, но и далеко за пределами Атлантического океана, особенно когда двигатели Теслы, были успешно применены на электростанции, сооруженной на Ниагарском водопаде. Тесла был избран почетным членом нескольких университетов и ученых обществ, а также вице-президентом Американского общества инженеров-электриков. Лабораторию Теслы в Нью-Йорке посещали многие ученые, среди которых были ученые с мировым именем, — лорд Кельвин, Гельмгольц и другие. Ведущая электротехническая печать во всех странах (в России журнал «Электричество») печатала статьи самого Теслы, а также статьи по поводу его экспериментов и изобретений.

В журнале «Электричество» были помещены статьи Теслы: «Опыты над переменными токами весьма высокой пережимаемости и их применение к методам искусственного освещения» [Л. 1], «Опыты над переменными токами с большим числом колебаний» [Л. 2], «Передача энергии без проводов как средство установления всеобщего мира» [Л. 3]. Как видно уже из заглавия последней статьи, Теслу живо интересовали также социальные вопросы и в технике он видел одно из важнейших средств для их разрешения. Кроме того, в журнале «Электричество» был помещен ряд статей, посвященных техническим достижениям Теслы: «Новый электродвигатель Теслы» [Л. 4], «Опыты с переменными токами высокого напряжения» [Л. 5], «Прибор Теслы для получения переменных электрических токов с большим числом перемен в секунду» [Л. 6], «Новейшие опыты Николы Теслы с токами большой частоты» [Л. 7].

В эти годы (1889—1895) Тесла провел ряд опытов по беспроволочной передаче электрической энергии на далекие расстояния, впервые создав машины и приборы для получения токов высокого напряжения и высокой частоты.

В 1893 г. Тесла предпринимал попытки беспроволочной передачи электрических сигналов на расстояние. Вот что писал об этом выдающийся русский ученый А. С. Попов, посетивший в том же году Всемирную выставку в Чикаго: «На станции отправления Тесла поднял на высокой мачте изолированный проводник, снабженный на верхнем конце некоторою емкостью в виде металлического листа; нижний конец этой проволоки соединялся с полюсом трансформатора высокого напряжения и большой частоты. Другой полюс трансформатора был присоединен к земле. Разряды трансформатора были слышны на станции приема в телефон, включенный в землю и высоко поднятый провод...» [Л. 7]. Хотя эти замечательные опыты Теслы еще далеко не разрешили проблемы беспроволочного телеграфа, однако они в общей цепи работ, развивавших знаменитые исследования Герца, живо интересовали нашего соотечественника, который спустя два года, путем напряженных дальнейших работ осуществил впервые практическое телеграфирование без проводов.

Работу Теслы в эти чрезвычайно плодотворные годы его открытий и экспериментов один из

биографов — Джон О'Нейл — описывает следующим образом:

«Ему удалось получить электрический свет без всякого нагрева. В высокой частоте электрического тока Тесла рассчитывал найти способы беспроволочной передачи электрической энергии в мировом масштабе для любой точки земного шара... Технически просто сконструированные устройства Теслы, дававшие вначале сотни тысяч вольт, впоследствии были доведены до напряжения в несколько миллионов вольт... В своих лекциях, прочитанных в разных городах Америки и Европы в 1892 г., Тесла демонстрировал лампы и двигатели, работающие по беспроволочной системе на высокочастотных токах» [Л. 9].

В этот период в лаборатории Теслы в Нью-Йорке произошел пожар, и труды многих лет, большие научные результаты, были уничтожены. В одном интервью Тесла так высказался об этом: «В моей лаборатории были уничтожены следующие самые последние достижения в области электрических явлений. Это, во-первых, механический осциллятор; во-вторых, новый метод электрического освещения; в-третьих, новый метод беспроволочной передачи сообщений на далекие расстояния и, в-четвертых, методы исследований самой природы электричества. Каждая из этих работ, а также и многие другие, конечно, могут быть восстановлены, и я приложу все мои усилия, чтобы это восстановить в новой лаборатории».

В 1899 г. Тесла построил в штате Колорадо лабораторию с нужным ему оборудованием; там он добился получения «искусственных молний» и, работая над проблемами беспроволочной передачи электрической энергии на далекие расстояния, призвел оригинальные опыты. По этому поводу проф. В. К. Лебединский писал: «Тесла возбуждал мощные электрические колебания в своем резонанс-трансформаторе, добываясь перекачивания энергии во вторую цепь помощью большой связи и двуволнистости, как это объяснили потом теоретически Обербек и М. Вин управляя искрою помощью магнитного дутья и делал ее рвущейся, и наконец, перешел к машине высокой частоты, сконструировав её первый образец. Все это Тесла делал, исходя из ясно представляемого желания передавать электромагнитную энергию на какие угодно расстояния, на весь земной шар, без проводов, чтобы каждый, где бы он ни находился, мог иметь работника в своем резонаторе для всех надобностей жизни» [Л. 10].

Снова вернувшись в Нью-Йорк, Тесла построил на Лонг-Айленде новую мощную лабораторию с огромной радиобашней высотой в 189 футов. Это был целый радиогородок, откуда вышло много новых оригинальных научных открытий и изобретений.

За время с 1889 г. до 1936 г. Тесла сделал около 800 всевозможных открытий и изобретений, из числа которых 75 реализовано. Из полученных им в США ста тринадцати патентов на изобретения к токам высокого напряжения и высокой частоты относятся 29 патентов, к много-

фазным токам — 41 патент, к радиотехнике — 18 патентов.

В круг вопросов, интересовавших Тесла, входил и вопрос о расщеплении атомного ядра при помощи токов высокого напряжения. Этой темы он касался в своей статье «О статическом электричестве (генератор Ван де Граафа)» [Л. 11].

В 1917 г. Тесла получил высшую в США научную награду — «Медаль Эдисона», а в разные периоды своей жизни он получил звания почетного магистра философии Йельского университета, доктора юридических наук Колумбийского университета и др.; кроме того, ему была пожалована золотая медаль Элиота-Кресона. В 1936 г. в связи с 80-летием Теслы, Югославское правительство выпустило серию почтовых марок с изображением выдающегося сына Югославии. В юбилейные дни, когда в Югославии происходил Международный научный конгресс, посвященный деятельности Николы Теслы, во всех школах этой страны широко освещалась его научная деятельность. В ознаменование патриотических заслуг Николы Теслы, оказавшего своей родине помощь в вооруженной борьбе против немецких и итальянских захватчиков во время второй мировой войны, одной из храбрейших дивизий югославской Народной армии было присвоено имя Николы Теслы.

Умер Тесла 7 января 1943 г. в США. Несколько тысяч человек и среди них много виднейших деятелей науки и техники шли за его гробом.

В связи с кончиной Николы Теслы Эдвин Армстронг, известный радиотехник, писал: «...только одних открытий в области многофазных токов и индукционного двигателя было бы достаточно для того, чтобы обеспечить Тесле вечную, немеркнущую славу... В области идей беспроводной передачи электрической энергии на далекие расстояния, Тесла был тем пророком, который за много лет вперед предсказал реальность осуществления такой задачи, несмотря на то, что еще не было необходимых для этого приборов и аппаратуры...»

Жизнь и деятельность Николы Теслы заслу-

живают специального изучения в целях создания полной научной биографии этого знаменитого ученого и электротехника. С этой точки зрения следует горячо приветствовать выход в свет книги директора Института им. Николы Теслы инж. Славко Бокшана, посвященной Николе Тесле и его трудам [Л. 11].

По случаю исполнившегося 10 июля с. г. 90-летия со дня рождения Николы Теслы президиум ВНИТОЭ и редакция журнала «Электричество» послали в Белград приветственные телеграммы Научно-техническому обществу им. Николы Теслы и Институту Николы Теслы («Электричество», № 8, 1946).

В своем ответном письме на приветствие редакции руководители института Николы Теслы — директор инж. Славко Бокшан и председатель, доктор Богдан Гаврилович — сообщают, что институт ставит своей задачей всемерную популяризацию трудов Теслы, и выражают надежду, что журнал «Электричество» будет этому содействовать. В письме сообщается также, что при праздновании девяностолетия Теслы, состоявшемся в Белграде летом текущего года, было внесено и одобрено предложение доцента университета, инж. Миливой Ракича, чтобы единица электрической энергии (киловаттчас) была названа именем «Тесла».

П. И. ВОЕВОДИН

Литература

1. Электричество, № 15—16, 1892.
2. Электричество, № 17, 18 и 24, 1893.
3. Электричество, № 9—10, 1905.
4. Электричество, № 6, 1891.
5. Электричество, № 13—14, 1891.
6. Электричество, № 4, 1894.
7. Электричество, № 11—12, 1899.
8. А. С. Попов, Телеграфирование без проводов 1899.
9. I. O'Ne y l. The life of Nicola Tesla, 1944.
10. Телеграфия и телефония без проводов, № 23, 1924.
11. Scientific American, № 3, 1934.
12. Славко Бокшан. Никола Тесла и его дело. Библиотека „Никола Тесла“, Белград, 1946.



В техническом совете Министерства электростанций СССР

Обзор вопросов в области электрических устройств энергосистем, рассмотренных техническим советом Министерства электростанций СССР

I. Требования к электропромышленности. С целью оснащения энергосистем современным оборудованием, стоящим на уровне новейшей техники и свободным от недостатков, имевшихся в ранее выпущенных типах, технический совет Министерства электростанций СССР в 1946 г. систематически занимался разработкой технических требований к электропромышленности по отдельным видам машин и аппаратов, применяемых в энергетических системах. В исследуемом полугодии технический совет подготовил и сформулировал в своих решениях эти требования.

Турбогенераторы. Советское турбогенераторостроение стоит на весьма высоком уровне. Отечественная электропромышленность имеет большие достижения в отношении выпуска мощных турбогенераторов, не уступающих по своим качествам машинам лучших зарубежных заводов. Однако, отдельные узлы турбогенераторов завода «Электросила» им. Кирова имеют существенные недостатки. Важнейшим из них является неудовлетворительная конструкция возбuditелей, недочеты которой приводят к авариям наиболее мощных агрегатов. За последние пять лет произошло свыше пятидесяти аварий с возбuditелями турбогенераторов завода «Электросила».

Заводом Министерства электропромышленности разработана новая серия возбuditелей, получившая одобрение, но производство новых возбuditелей еще не поставлено. Были тенденции отказываться в крупных турбогенераторах от расположения возбuditеля на одном валу с генератором и перейти на отдельные возбuditели. Однако технический совет, основываясь на опыте эксплуатации импортных быстрходных машин, подтверждаяем полную надежность работы возбuditелей, расположенных на одном валу с генератором, высказался против установки возбuditелей в виде отдельных агрегатов, учитывая наличие защит медленного действия и принятое на электростанциях СССР питание собственных нужд от общей сети. Технический совет отметил необходимость проектирования новой улучшенной серии возбuditелей для сочленения с валом ротора турбогенератора с двумя самостоятельными подшипниками.

Рассмотрев электрические характеристики генераторов, выпускаемых электропромышленностью СССР, технический совет отметил недостаточность отношения короткого замыкания и поправка возбуждения по условиям устойчивости работы в системе.

В турбогенераторах завода «Электросила» недостаточно надежен узел: бочка ротора—капша—центрирующее кольцо; у многих генераторов происходит вытекание масла из подшипников и попадание его на обмотки.

Технический совет выдвинул в своем решении требования спроектировать и начать производство новой серии турбогенераторов, конструктивно более надежной и с более высокими электромагнитным и тепловым запасами с $\cos \phi$ не выше 0,8; причем последнее ограничение не относится к турбогенераторам мощностью 100 000 kW. Технический совет считает целесообразным уменьшить допускаемую температуру нагрева обмоток ротора и обеспечить тепловой запас возбuditеля порядка 15—20° С. Отношение короткого замыкания должно быть повышено примерно до 0,8. Турбогенераторы должны иметь форсировку возбуждения, обеспечивающую при снижении напряжения увеличение тока ротора до величины, превышающей в 1,8—2 раза номинальное его значение в течение 1 min. Турбогенераторы от 25 000 kW и выше, как правило, должны выпускаться с водородным охлаждением. Технический совет высказался за необходимость усиления жесткости креплений лобовых частей обмотки статора, улучшения материала контактных

колец, улучшения конструкции и жесткости подшипников турбогенератора, устранения возможности вытекания масла и попадания его на обмотки турбогенератора или возбuditеля, пересмотра узла «бочка ротора—капша—центрирующее кольцо—вал ротора» для устранения происходящих случаев «использания» капш и улучшения качества изолирующих лаков, входящих в состав изоляции роторов, с целью сокращения времени ее сушки. На валу ротора должны выполняться угоры, чтобы обеспечить возможность пуска генератора без турбины для работы в режиме синхронного конденсатора и при наладочных испытаниях.

Была отмечена также недостаточная эффективность воздухоохладителей турбогенераторов завода «Электросила», что вынуждает в летнее время на ряде станций ограничивать мощность машин.

Технический совет указал на необходимость обеспечения симметричного распределения потоков охлаждающего воздуха и равенства их температур на входе путем соответствующего размещения воздухоохладителей. Температурный перепад между охлаждающим воздухом и входящей водой должен быть не менее семи градусов.

Техническим советом предложено расширять на машины 10 kV допускаемые в условиях эксплуатации отклонения рабочих напряжений на +10% от номинального, что принято для машин 6 kV. Признано также желательным производить испытание изоляции обмоток ротора при номинальных оборотах, так как испытание при неподвижном роторе не выявляет дефектов изготовления.

Остановившись специально на имеющихся организационных затруднениях при монтаже и пуске турбогенераторных агрегатов, технический совет высказался за необходимость комплектной поставки турбины и генератора; причем с последним должно поставляться все относящееся к нему оборудование, воздухоохладительное устройство, реостаты, защиты, регулятор напряжения; приборы дистанционного и щитового контроля, комплект щеток на два года и все запасные части не только к генератору, но и к его вспомогательному оборудованию. По мнению технического совета должен быть установлен порядок, при котором монтаж турбогенератора со всем вспомогательным оборудованием, его пусковые испытания и сдача в эксплуатацию должны производиться только одним поставщиком, независимо от изготовления турбины и генератора различными заводами различных министерств. Капитальные и послеаварийные ремонты турбогенераторов в течение всего срока их службы должны производиться заводами, изготовившими эти машины.

Компаундирование синхронных генераторов с коррекцией напряжения. Изданным в 1943 г. противоаварийным циркуляром № 23 технического отдела НКЭС было введено, как весьма эффективное мероприятие для предотвращения аварий с нарушением устойчивости, компаундирование синхронных генераторов при помощи нормальных трансформаторов тока и купроксных или селеновых выпрямителей. В приложении к названному циркуляру были даны временные руководящие указания по компаундированию. За время, истекшее после издания циркуляра, по заданию Министерства электростанций проводилась дальнейшая разработка вопроса компаундирования генераторов с применением корректоров напряжения, с целью поддержания постоянства последнего и увеличения форсировки возбуждения при больших снижениях напряжения. Здесь наметились два основных направления. По одному из них шел Институт энергетики Академии наук УССР, разработавший электромеханический вибрационный корректор,

испытанный в эксплуатационных условиях в Киевэнерго. Несколько ранее кафедра релейной защиты и автоматика энергосистем Московского энергетического института разработала электронный корректор и провела его промышленное испытание в Узбекэнерго. Электронный корректор в последующем был разработан также Мосэнерго и испытан в эксплуатации в его системе.

При обсуждении в Техническом совете указывалось, что схема обычного компаундирования улучшает параметры генератора, но она недостаточна, так как не может заменить регуляторов напряжения и не обеспечивает надлежащей форсировки возбуждения. Это потребовало введения корректоров, которые проще регуляторов напряжения. Компаундирование генераторов с коррекцией напряжения является правильным направлением. Представители Мосэнерго, основываясь на опыте эксплуатации компаундирования с электронной коррекцией, отмечали хорошие эксплуатационные качества последней и надежность схемы, относя к недостаткам электронных корректоров: известную сложность устройства, требующую повышенной квалификации обслуживающего персонала, несерийность схем, так как последние индивидуализируются для каждого генератора, недостаточность двухламповой схемы для машин с возбудителями, имеющими значительный ток возбуждения, и необходимость применения трехфазной схемы выпрямления или установки тиристоров. В выступлениях отмечалось также, что механические корректоры имеют несомненные преимущества в отношении массового изготовления. Указывалось также на необходимость проведения исследований по применению амплитудов, которые могут упростить работу всей схемы.

Технический совет в своем решении отметил, что из оснований проведенных научно-исследовательских работ, промышленных испытаний и опытной эксплуатации компаундирования синхронных машин с коррекцией напряжения является правильным решением вопроса о регулировании возбуждения синхронных генераторов большой и средней мощности. При этом обеспечиваются возможность работы в зоне искусственной устойчивости, автоматическое поддержание постоянства напряжения генераторов в заданном режиме с достаточно высокой точностью при удовлетворительных характеристиках регулирования по статизму, форсировка возбуждения генераторов вплоть до потолочного значения при ненормальных режимах в энергосистеме. Опыт показал, что компаундирование с коррекцией напряжения отличается эксплуатационной надежностью, простотой обслуживания и не требует основания производства сложной аппаратуры. Весьма ценным является то, что весь процесс регулирования, вплоть до форсировки возбуждения генератора до потолка, производится лишь путем изменения дополнительного питания цепей возбуждения от нормальных трансформаторов тока и напряжения данного генератора.

Технический совет поручил техническому отделу Министерства издать новый эксплуатационный циркуляр по компаундированию синхронных генераторов с коррекцией напряжения, дополняющий противаварийный циркуляр № 23, 1943 г. и дающий рекомендации по выбору корректора.

Технический совет отметил необходимость предъявления Министерству электропромышленности требования об обеспечении комплектного выпуска компаундированных синхронных генераторов мощностью 30 000 kVA и выше вместе со всей необходимой аппаратурой: регулятором-корректором, трансформаторами тока и промежуточными трансформаторами, выпрямителями, установочными реостатами и пр.

Указано также на необходимость приступить к исследованию и опытной проверке схем регулирования возбуждения с применением амплитуды и на целесообразность дальнейшего продолжения Энергетическим институтом Академии наук СССР исследовательских работ в направлении разработки корректора на базе измерительного органа в виде комбинации дросселя и резистора или дросселя и конденсатора, что, в частности, представляет интерес для малых электростанций.

II. Эксплуатация электрических устройств энергосистем.

Нормы периодических испытаний и ремонтов электрооборудования станций и подстанций. Техническим советом рассмотрены разработанные техническим отделом Министер-

ства электростанций проект новых «Норм периодичности испытаний и ремонта электрооборудования станций и подстанций», представляющих собой дополнение к ранее выпущенным «Нормам периодичности и основной технической документации по ремонту основного энергооборудования станций и подстанций».

Представленный проект по сравнению с ранее действовавшими нормами делает значительный шаг вперед в отношении упрощения эксплуатационного контроля за работающим оборудованием.

Наивыгоднейшее распределение нагрузок в энергосистемах. В электротехнической секции технического совета состоялось предварительное обсуждение разработанного кафедрой электрических сетей Московского энергетического института им. Молотова (автор инж. В. М. Горнштейн) проекта «Руководящих указаний по наиболее выгоднейшему распределению нагрузок в энергосистемах». Проект представляет собой первую попытку объединить в одном труде вопросы распределения нагрузок между станциями и дать практические рекомендации, пригодные при распределении нагрузок, работникам диспетчерских служб и групп режимов энергосистем. В соответствии с этими задачами в проекте руководящих указаний дано теоретическое обоснование рекомендуемых приемов и подробно рассмотрены вопросы о допустимости упрощений отдельных методов для облегчения их практического применения. В проекте содержится также уточнение ряда неясных вопросов, как, например, об очередности пуска агрегатов в системе, о характере зависимости относительного прироста расхода топлива в котлах от нагрузок и др., а также решение вопросов, остававшихся до сих пор неисследованными, а именно: методика распределения нагрузок между станциями при заданном расходе топлива на части из них, распределение нагрузки между гидро- и теплостанциями, использование характеристик, имеющих разрыв непрерывности.

В заключениях рецензентов и в выступлениях большинства участников совещания была отмечена большая ценность работы, дающей теоретический и углубленный анализ методов распределения нагрузок и на его основе рекомендуемой практические приемы. Наряду с этим некоторые из выступавших выражали сомнения в отношении методов, примененных автором в области теплотехнических расчетов, как, например, применение устаревшего понятия «стандартного пара» и выражение в этом измерителе тепловых характеристик агрегатов, введение типовой характеристики для котлов различных типов и мощностей и др. Указывалось также, что в части гидростанций автор оперировал только с характеристиками турбин Каплана, тогда как многие станции имеют другие типы турбин с сильно отличающимися характеристиками. Недостатком проекта руководящих указаний был признан их большой объем, вызванный объединением в одном труде как теории вопроса, так и практических рекомендаций.

Рассматривая работу в целом, электротехническая секция совета признала, что представленный Московским энергетическим институтом им. Молотова проект руководящих указаний дает принципиально правильные методические указания работникам диспетчерских служб энергосистем по оперативному распределению нагрузки между параллельно работающими станциями.

Анализ аварий в электрической части энергосистем за 1945 г. Техническим советом были рассмотрены статистические итоги аварийности в электрической части энергетических систем за 1945 г., сообщенные Главной инспекцией по эксплуатации, а также результаты проведенного ОРГЭС анализа аварий за тот же год. Сопоставление аварийных итогов, отнесенных только к энергосистемам, эксплуатация которых не нарушалась в период войны, показывает, что число аварий по этим системам в течение 1945 г. практически не изменилось по сравнению с предыдущим 1944 г. Включение в конце 1944 г. в систему учета аварийности электрических станций и сетей в областях, пострадавших от войны, отразилось на увеличении общего итога аварий, вследствие большого числа недоделок и дефектов на этих электрических установках. Аварийность в электрической части электростанций и электросетей составляла в 1945 г. 61,3% от общего числа аварий по всем энергосистемам в целом.

Технический совет констатировал, что значительное число аварий происходит вследствие невыполнения планово-предупредительных ремонтов

и профилактических испытаний и нарушений правил технической эксплуатации и производственных инструкций. Весьма значительное число аварий происходит из-за невыполнения давно известных противоаварийных мероприятий, как, например, из-за недостаточности внедрения автоматического регулирования напряжения (АРН), автоматического повторного включения (АПВ), автоматического ввода резерва (АВР) автоматической разгрузки по частоте и т. д.

Технический совет отметил, что проведенный ОРГЭС анализ аварий за 1945 г. в основном подтверждает выводы анализов аварий за предыдущие годы, а также эффективность применяемых противоаварийных мероприятий.

Совет поручил ОРГЭС представить проект улучшения работ по техническому анализу аварий. Ввиду того, что наибольший эффект анализ аварий может дать в сочетании с анализом эксплуатации, ОРГЭС поручено также представить свои соображения о формах организации анализа эксплуатации. Технический совет вынес решения по отдельным видам аварий.

О борьбе с системными авариями. Важным фактором, предотвращающим возникновение и ограничивающим развитие аварий в сложных энергетических системах, является наличие достаточного развития межсистемных и межстанционных связей, вследствие чего необходимо стремиться к развитию основных электрических сетей как с точки зрения повышения маневренности, так и обеспечения надежного резерва. Ввиду большой эффективности автоматического регулирования напряжения, форсировки возбуждения синхронных машин и автоматической аварийной разгрузки по частоте необходимо дальнейшее повсеместное внедрение этих устройств. Необходимо также приступить к широкому внедрению АПВ с проверкой синхронизации на межсистемных связях.

Энергосистемы должны быть в кратчайший срок оснащены приборами для автоматической регистрации процесса протекания аварий (автоматическими быстросиловыми приборами, автоматическими осциллографами и т. п.).

Учитывая, что значительный сброс нагрузок при системных авариях происходит из-за неправильной работы защитных электродвигателей на предприятиях промышленности, технический совет поручил техническому отделу Министерства электростанций совместно с Государственной инспекцией по промышленной энергетике и энергонадзору выпустить руководящие указания по защите электродвигателей.

О борьбе с авариями, связанными с потерей собственных нужд. Общее число аварий с потерей собственных нужд в 1945 г. оставалось на прежнем уровне. Для ликвидации этого вида аварий необходимо продолжать проведение глубокого секционирования и внедрения АВР собственных нужд, а также автоматической разгрузки по частоте в системах. Необходимо потребовать от станций составления плана выполнения мероприятий по приведению в кратчайший срок электрической части собственных нужд в соответствие с требованиями противоаварийного циркуляра № 1.

Для изолированно работающих станций признано необходимым предусматривать на новых станциях и дополнительно установить на существующих паровые приводы к основным механизмам собственных нужд, питательным, циркуляционным и конденсационным насосам и т. п.

О борьбе с авариями по вине персонала. Техническому отделу министерства предложено ускорить выпуск руководящих указаний по производству оперативных переключений в электрической части станций, в которых были бы собраны, систематизированы и развиты указания ПТЭ, отдельных противоаварийных и эксплуатационных циркуляров, а также опущенные в последние издания правил безопасности указания о порядке производства оперативных переключений. Должна быть возобновлена прерванная войной работа по оборудованию распределительных устройств блокировками для предотвращения неправильных переключений. Советом признано возможным применять блокировки между выключателем и разъединителями одного и того же присоединения без включения в схему блокировки шиносоединительного выключателя. Технический совет предложил пересмотреть существующие типы блокирующих устройств в сторону упрощения схем и конструкций и обратил внимание на необходимость обеспечить снабжение энергосистем оборудованием для устройства новых и реконструкции существующих блокировок.

О борьбе с авариями на воздушных линиях электропередачи. Отмечая высокую эффективность ремонта линий под напряжением и применения префазного и пофазного АПВ, технический совет постановил настоятельно требовать от энергосистем проведения этих мероприятий.

Учитывая высокую повреждаемость опор линий из-за применения неконсервированного леса, технический совет поручил тресту «Энерголес» подготовить доклад о перспективах снабжения энергосистем пропитанной древесиной для высоковольтных воздушных линий.

Для изжития перерывов в работе линий, происходящих вследствие повреждений, причиняемых населением, энергосистемам предложено возобновить разъяснительную работу среди населения районов, прилегающих к трассам линий.

О борьбе с авариями, вызванными неправильной работой релейной защиты и системной автоматики. Технический совет признал необходимым: скорейшее развертывание электротромышленностью релейного и защитного оборудования указаний по проверке реле и схем защиты; выпуск информационного письма о дефектах реле типов ЭТ и ЭВ и о мерах, необходимых для увеличения надежности их работы.

По борьбе с авариями на генераторах. Учитывая большое количество случаев пробоя изоляции генераторов при коммутационных перенапряжениях, технический совет признал желательным включить в проводимую Московским энергетическим институтом по поручению технического отдела министерства работу «Защита вращающихся машин от перенапряжений» также вопросы защиты от коммутационных перенапряжений.

О борьбе с авариями электрической аппаратуры. Предложено техническому отделу министерства закончить в текущем году разработку инструкции по эксплуатации распределительных устройств и их аппаратуры. Особенное внимание в этой инструкции должно быть обращено на эксплуатацию масляных выключателей (замер скорости движения траверсы, установку экранов на дисковых решетках ВМ-35, устранение заедания контактов в этих выключателях, восстановление и модернизацию вводов ВМ-125 и т. д.).

ОРГЭС предложено разработать конструкцию амортизаторов к разъединителям наружных установок, смягчающих удары при включениях.

О борьбе с авариями кабельных линий. Для локализации повреждений при однофазных дуговых замыканиях на землю технический совет признал необходимым широкое внедрение в кабельных сетях с большим емкостным током дуготгасящих установок и т. п. и поручил техническому отделу разработать и выпустить соответствующие руководящие указания.

III. Проектирование и строительство электрических устройств энергосистем

О некоторых вопросах проектирования энергосистем. Заслушав доклад Теплоэлектропроекта технический совет рекомендовал использовать при проектировании энергетических систем СССР следующие положения:

Более широко применять для крупных промышленных установок распределительные сети напряжением 35 kV, что должно привести помимо удешевления сетей также к упрощению главных схем коммутации промышленных электростанций. Широко применять в электрических системах трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой. Трансформаторы без регулирования напряжения под нагрузкой устанавливать, как правило, в блоках генератор—трансформатор. Допускать децентрализованное размещение заводских комплектов устройств с безмасляной аппаратурой в системе собственных нужд электростанций с отказом от требования центрального расположения распределительных устройств собственных нужд в главном корпусе. Применять размещение трансформаторов собственных нужд электростанций в непосредственной близости к распределительным устройствам собственных нужд и сборкам, допуская размещение трансформаторов 0,5 или 0,38 kV в главном корпусе.

Более широко допускать размещение электротехнических устройств как вдоль машинного зала, так и вдоль котельной, в виде пристроек. Максимально приближать повысительные трансформаторы блока генератор—трансформатор к генераторам, допуская размещение их непосредственно вдоль стены машинного зала. Шире применять размещение главных

щитов управления в непосредственном примыкании к машинному залу электростанции. Более широко внедрять на электростанциях и подстанциях трехфазные трансформаторы крупных мощностей.

Взамен монолитных железобетонных или кирпичных распределительных устройств применять для главных распределительных устройств сборные конструкции с металлическим каркасом и негорючим заполнением. В целях упрощения вторичной коммутации размещать релейную защиту фидеров генераторного напряжения непосредственно на фасадах камер распределительных устройств. Применять закрытые распределительные устройства 110 кВ для местностей с загрязненной атмосферой.

Для ответственных элементов схемы (генераторы, повысительные трансформаторы) применять кабели с отдельно освинцованными жилами.

При проектировании заземления электростанций уделять большее внимание глубинным заземлителям, способным в ряде случаев значительно повысить проводимость заземляющего устройства.

В целях отказа во многих случаях от сооружения трансформаторных мастерских шире практиковать производство небольших работ по ревизии трансформаторов в машинном зале.

Ограничить объем масляного хозяйства, запасы масла, резерв аппаратуры на электрических станциях, с тем, чтобы основная аппаратура и основные запасы масла находились в центральном хозяйстве энергообъединения.

Регенерационные установки предусматривать лишь в центральных мастерских энергообъединений.

В целях повышения пожарной безопасности электростанций и подстанций считать целесообразным для тушения пожаров трансформаторов высоких мощностей применение стационарных разбрызгивающих водяных установок.

Изменение и уточнение методов расчета токов короткого замыкания и выбора выключателей. В представленной технической совету работе инженер Теплоэлектропроекта А. Б. Крикунчик внес предложение о внесении некоторых изменений в изданные в 1944 г. «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору по режиму короткого замыкания аппаратуры и проводников в электрических установках высокого напряжения». А. Б. Крикунчик предлагает ввести упрощенный метод расчета токов короткого замыкания, который избавляет от производства длительных и сложных вычислений и дает вместе с тем более надежные результаты.

Статья А. Б. Крикунчика по этому вопросу будет опубликована в № 12 журнала «Электричество». Там же будет опубликовано и решение технического совета по этому вопросу.

Правила расчета закрепления в грунтах опор воздушных электрических линий сильного тока. Технический совет при рассмотрении вопроса о несовершенстве метода расчета закрепления в грунтах опор воздушных электрических линий, рекомендованного электротехническими правилами и нормами издания 1933 г., нашел необходимым переработать указанный метод и опубликовать новые способы расчета в качестве обязательных нормативов. Впредь до окончательной разработки новых нормативов Технический совет призвал возможным одобрить с некоторыми поправками взамен норм 1933 г. «Правила расчета закрепления в грунтах опор воздушных линий», разработанные Теплоэлектропроектом.

IV. Научно-техническая работа. Динамическая модель гидроэнергетической системы. Техническим советом был рассмотрен проект создания в Московском энергетическом институте в комплексе его гидроэнергетических лабораторий—динамической модели гидроэнергетической системы, которая позволит воспроизводить в миниатюре все явле-

ния, возникающие в мощных энергетических системах как при нормальных, так и при аварийных режимах, и которая даст возможность, используя законы подобия, изучать физику явлений и определять их количественную сторону. На модели можно будет также производить изучение гидродинамических явлений в турбинах, трубопроводах и регуляторах турбин.

Установка сможет быть использована для проведения научных исследований, для выяснения поведения системы при наличии в ней новых аппаратов и схем коммутации, для замены расчетов проектируемых энергосистем экспериментальной проверкой, что даст более быстрое и более наглядное представление о свойствах системы, для исследования режимов работающих систем, для воспроизведения и изучения любых аварий, а также для обучения студентов и эксплуатационного персонала.

В первую очередь намечено проведение исследований по проверке критериев статической устойчивости, по автоматической разгрузке системы и по ряду вопросов, связанных с применением АПВ.

Технический совет одобрил представленный проект динамической модели гидроэнергетической системы и предложил Московскому энергетическому институту провести дополнительные теоретические исследования и проектные работы, чтобы обеспечить возможность моделирования процессов переходных режимов гидростанций и гидроэнергетических систем в части совместной работы гидрогенераторов с генераторами, имеющими роторы с неявно выраженной полюсами, влиянии демпферной обмотки ротора на работу гидрогенератора и пр. Совет высказался также за желательность приспособления модели для изучения работы гидростанций на линии передачи постоянного тока высокого напряжения.

V. Выпуск энергетической литературы. В конце 1945 г. технический совет предложил Госэнергоиздату разработать перспективный план на 1947—1950 гг., в котором должны быть установлены основные направления в выпуске электроэнергетической литературы.

Представив план, Госэнергоиздат сообщил, что им предусмотрены новые издания на актуальные, по мнению издательства, темы, а также переиздание наиболее ценных книг, вышедших в довоенные годы.

Технический совет при обсуждении плана отметил, что предстоящее в новой пятилетке удвоение мощности электростанций требует значительного роста инженерного и рабочего персонала на энергетических предприятиях и что подготовка и переподготовка персонала в значительной степени зависят от качества и количества технической литературы. Госэнергоиздату было указано на недостаточное количество литературы для рабочих и мастеров, а также на то, что в план не включены книги по ряду специальностей. Кроме того, было указано на недостаточность места, отведенного в плане учебникам для техникумов, в частности, на полное отсутствие этой категории учебников по гидроэлектростанциям, по автоматике и телемеханике. Слабым местом плана Госэнергоиздата является совершенно недостаточный выпуск литературы для Института по усовершенствованию инженеров. Внимание издательства обращено на необходимость выпуска книг по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения и др.

Принято решение об издании в течение текущей пятилетки серии книг для квалифицированных инженеров-электриков, о выпуске книг по обмену опытом, пособий для заочного Института повышения квалификации инженерно-технических работников, переводов норм и стандартов.

Инж. Б. И. ФЕЛЬДБЛЮМ
Ученый секретарь технического совета
Министерства электростанций СССР



В Комитете по делам мер и измерительных приборов при Совете министров СССР

В мае текущего года состоялась III сессия пленума научно-технического совета Комитета по делам мер и измерительных приборов. Сессия была посвящена рассмотрению пятилетнего плана развития Государственной службы мер и весов и научно-исследовательской деятельности институтов Комитета. Одновременно были затронуты вопросы международной метрологической работы, а также новые проблемы метрологии, возникшие в связи с последними достижениями науки и техники.

Заслушав доклад председателя Комитета А. П. Кузнецова, сессия одобрила направление деятельности институтов Комитета. Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) им. Д. И. Менделеева будет развивать свою деятельность в качестве ведущего научно-исследовательского метрологического центра, создающего и хранящего государственные эталоны единиц измерения, в том числе эталоны электрических и магнитных единиц, а также разрешающего проблемные вопросы метрологии во всех отраслях измерения. Московский государственный институт мер и измерительных приборов (МГИИП) станет основным центром по государственным испытаниям приборов, выполняя вместе с тем исследовательские работы по автоматическим средствам измерения и контроля, по измерению неэлектрических величин электрическими методами и пр. Харьковский государственный институт мер и измерительных приборов (ХГИИП) будет заниматься, главным образом, разработкой новых методов высокочастотных измерений, электрических измерений величин при нестационарных процессах и др. Филiale ВНИИМ в Свердловске предстоит большая работа по разрешению специальных вопросов по Уралу (создание стандартных образцов металлов и разных материалов, спектроскопические исследования и пр.), а деятельность Новосибирского института будет направлена на усовершенствование методики поверок и выполнение работ, связанных с развитием промышленности Сибири.

Среди больших работ комплексного характера, стоящих перед системой Комитета, и в первую очередь перед ВНИИМ, выделяется осуществление перехода на абсолютную систему электрических единиц. Необходимой предпосылкой этого перехода является установление возможно более точных соотношений между абсолютными и международными электрическими единицами. В октябре 1935 г. Международный комитет мер и весов, основываясь на работах ведущих метрологических институтов мира, установил следующие соотношения:

1 международный ампер = 0,9999 абсолютного ампера,
1 международный вольт = 1,0004 абсолютного вольта,
1 международный ом = 1,0005 абсолютного ома.
Тогда же был установлен срок перехода на абсолютные единицы — 1 января 1940 г. Наступившая война приостановила метрологические работы и новый срок перехода на абсолютные электрические единицы был установлен — 1 января 1948 г. ВНИИМ еще в 1938 г. начал работы по созданию новых эталонов, воспроизводящих абсолютные электрические и магнитные единицы электромагнитной системы. Эти работы, прерванные войной, сейчас вновь развернуты в полном объеме. Установка для воспроизведения абсолютного ампера, так называемые «ампервесы» (типа Реллея), в настоящее время закончена. В начале 1947 г. будет изготовлен второй экземпляр ампервесов. Во второй половине 1947 г. будут закончены работы по воспроизведению абсолютного генри и абсолютного ома. Осенью текущего года должно быть завершено сооружение магнитного теодолита, сконструированного проф. Б. М. Яновским и служащего для воспроизведения магнитных единиц в абсолютной системе.

В текущем пятилетии должны быть проведены также капитальные работы по созданию эталонных частотных установок, в частности, сооружение (во ВНИИМ и МГИИП) «кварцевых часов». Эти установки, снабженные дополнительными усилительными устройствами, смогут давать точно калиброванные частоты другим лабораториям (лабораториям, поверяющим частотомеры, тахометры, секундомеры, акустическим лабораториям и пр.).

Наконец, большое внимание будет обращено на увеличение как пределов измерения, так и количества поверяемых приборов. Пределы поверки на переменном токе промышленной частоты должны быть доведены до 30 кА и 220 кV, на постоянном токе — до 8 кА и 20 кV. Диапазон поверки при частоте 1 000—20 000 Hz должен быть увеличен до 100 А и 1 000 V. Для массовой поверки приборов будут созданы специальные автоматические и полуавтоматические установки.

Кроме работ по электрометрии пятилетний план предусматривает много актуальных научно-исследовательских работ в других областях измерения. Таковы, например, разработка методов точных измерений очень высоких, низких, нестационарных и мгновенных температур; повышение предела измерения давлений до 20 000 kg/cm²; измерение мгновенных и переменных давлений; воспроизведение единой шкалы твердости; разработка методики определения микротвердости и многие другие.

С докладом «Современное состояние Международной службы мер и весов и ее задачи» выступил член-корреспондент Академии наук СССР, проф. М. А. Шателен, являющийся также членом метрологического бюро ВНИИМ и постоянным представителем СССР в Международном комитете мер и весов. Доклад М. А. Шателена был посвящен рассмотрению состояния работы по поддержанию международного единства основных мер в разных областях измерения. Докладчик указал на необходимость скорейшего сличения наших государственных эталонов (длины, массы электрического сопротивления, электродвижущей силы, световых эталонов) с международными. Сличения световых эталонов особенно необходимы ввиду намечаемого перехода в 1947 г. на «новую свечу». Эталоны «новой свечи» были созданы при участии М. А. Шателена во ВНИИМ еще до войны (в форме «черного тела», устроенного по международной спецификации), но в настоящее время они требуют серьезных восстановительных работ. Наряду с этим согласно решению III сессии пленума должна быть проведена подготовка к предстоящему в конце текущего года пленуму Международного комитета мер и весов и к созываемой в дальнейшем конференции по мерам и весам.

Третьим пунктом повестки дня был доклад проф. И. В. Поройкова «О новых проблемах в метрологии в связи с последними достижениями науки и техники». Для метрологии достижения науки и техники в области использования атомной энергии, применения ультракоротких волн в радиолокационных установках и пр. выдвигают совершенно новые проблемы. Возникает необходимость пересмотра величин, которые до настоящего времени были приняты в качестве основных при установлении исходных мер. Использование энергии атомного ядра тесно связано с измерением весьма разнородных излучений. Для различных интервалов спектра электромагнитных излучений и для ряда корпускулярных потоков необходимо установить практические единицы измерения и обеспечить их эталонами. Значительно расширяются пределы измерения величин, характеризующих явления, сопутствующие ядерным превращениям (параметры лучистой энергии, корпускулярные потоки, электрический ток, температура, давление, ускорение). Измерение процессов, сопутствующих ядерному распаду, ввиду невозможности присутствия наблюдателей и обслуживающего персонала вблизи последних, должно идти по линии использования телеизмерительных и автоматических устройств. Предстоит дальнейшее широкое развитие электрических методов измерения неэлектрических величин. Вполне возможно и целесообразно использование радиотехники, как это уже имеет место например, в метеорологии (радиозонды) или при поверке хронометров (радиосигналы точного времени).

Сессия приняла решение о необходимости всемерного развития лабораторных работ в области измерения параметров лучистой энергии и корпускулярных потоков, в целях установления соответственных единиц измерения и эталонов в дальнейшем.

Инж. Н. А. ШОСТЬИН

Научно-техническая конференция Академии коммунального хозяйства им. Памфилова

В июле 1946 г. состоялась научно-техническая конференция по вопросам коммунального хозяйства, созданная в связи с 15-летием постановления июньского пленума ЦК ВКП(б) 1931 г. о развитии городского хозяйства СССР.

В работе конференции приняло участие около 500 делегатов из 30 городов СССР, в том числе представители: Академии наук СССР, Госплана СССР, Московского ордена Ленина энергетического института им. Молотова, Всесоюзных научных инженерно-технических обществ энергетики и городского электротранспорта и др.

Инж. А. Ф. Шаров (Госплан СССР) сделал доклад «О жилищно-коммунальном хозяйстве в городах СССР за 15 лет и плане развития этого хозяйства в 1946—1950 гг.». Пятилетний план предусматривает пуск трамвая в 11 городах и троллейбуса в 20 городах; за этот период будет построено 50 коммунальных электростанций.

На конференции работало 7 секций, в том числе секция энергетики и секция городского транспорта. На заседаниях секции энергетики были заслушаны доклады кандидата техн. наук В. Л. Леви «Пути и задачи развития коммунальной энергетики в четвертой пятилетке», доктора техн. наук, проф. Б. Л. Шифринсона «Итоги развития теплофи-

кации в СССР за 15 лет и дальнейшие пути ее развития», доктора техн. наук, проф. М. М. Хазена «Номенклатура и параметры основного оборудования электростанций малой мощности», доктора техн. наук, проф. Н. Ф. Федорова «Перспективы электропотребления в коммунальном хозяйстве и быту».

На заседаниях секции городского транспорта были заслушаны доклады доц. В. Г. Сосянца «Итоги научно-исследовательских работ в области городского транспорта за 10 лет», кандидата техн. наук Г. И. Васильева «Реконструкция подвижного состава трамваев и троллейбусов», кандидата техн. наук Е. В. Чеботарева «Новая техника в области электрохозяйства городского транспорта» и др.

В резолюции конференции констатируется неотложная необходимость реорганизации Академии коммунального хозяйства в общесоюзную с созданием в ее системе отраслевых научно-исследовательских институтов и в том числе институтов коммунальной энергетики и городского транспорта.

Кандидат техн. наук Ю. М. ГАЛОНЕН

Памяти профессоров А. Б. Лебедева и В. А. Шевалина

К пятилетию со дня смерти

Пять лет назад, в июле 1941 г. скончался член-корреспондент Академии наук СССР доктор техн. наук, проф. Алексей Борисович Лебедев, а спустя три недели, скончался доктор техн. наук, проф. Вадим Александрович Шевалин.

Памяти этих выдающихся деятелей советской науки и электрификации транспорта СССР было недавно посвящено открытое собрание кафедры электрической тяги Ленинградского политехнического института им. Калинина. После вступительного слова заведующего кафедрой доктора техн. наук, проф. С. П. Пресса было заслушано несколько докладов сотрудников кафедры.

Кандидат техн. наук, доц. В. А. Беляков доложил собранию о роли кафедры электрической тяги в развитии электрического транспорта в СССР. Кандидат техн. наук,

доц. Н. Н. Сидоров в своем сообщении осветил жизнь и деятельность проф. А. Б. Лебедева, а кандидат техн. наук В. Е. Скобелев рассказал о жизни и деятельности проф. В. А. Шевалина. Кандидат техн. наук доц. Б. М. Шляпошников представил доклад о работе кафедры электротяги Ленинградского политехнического института в области применения ионных преобразователей для электрификации транспорта.

С личными воспоминаниями о А. Б. Лебедеве и В. А. Шевалине выступили проф. М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский, А. Е. Алексеев и др. В докладах и выступлениях образы покойных А. Б. Лебедева и В. А. Шевалина были ярко освещены; собрание прошло в исключительно теплой обстановке глубокого уважения к памяти Алексея Борисовича Лебедева и Вадима Александровича Шевалина.

Алексей Борисович Лебедев

5 июля 1941 г. скончался член-корреспондент Академии наук СССР, доктор техн. наук, проф. Алексей Борисович Лебедев, деятельность которого представляет собой яркую страницу советской науки и техники.

Будучи учеником проф. Александра Викторовича Вульфа, основателя школы русских электротяговиков, А. Б. Лебедев все свои силы посвятил теоретической и практической работе в области электрической тяги. Начиная с того времени, когда Алексей Борисович был студентом Петербургского политехнического института и одновременно — слесарем Василеостровского трамвайного парка, деятельность Алексея Борисовича отличалась замечательным сочетанием теории и практики.

По окончании в 1909 г. Политехнического института Алексей Борисович остался в институте, с которым была связана вся его дальнейшая жизнь; он был лаборантом, преподавателем, адъюнктом, организатором лаборатории и

мастерской. В 1924 г., после смерти А. В. Вульфа, А. Б. Лебедев был избран профессором и заведующим кафедрой электрической тяги Ленинградского политехнического института; на этом посту он оставался бессменно до своей смерти в 1941 г. Под руководством Алексея Борисовича деятельность кафедры достигла широкого развития и размаха, как в отношении учебной, так и научно-исследовательской работы. По проекту и под непосредственным руководством Алексея Борисовича была создана новая лаборатория электротяги. Лаборатория стала мощной базой учебных занятий по предметам специальности электрической тяги. В лаборатории было проведено под общим руководством Алексея Борисовича большое количество научных работ, в значительной степени содействовавших развитию советского электротранспорта.

Труды и исследования А. Б. Лебедева широко известны в среде лиц, занимающихся вопросами электрификации

транспорта. В ряде статей, опубликованных им в период с 1914 по 1924 г., рассмотрены с большей тщательностью вопросы рекуперации электрической энергии, главным образом, на переменном токе, и впервые произведен глубокий анализ работы тяговых двигателей и схем при рекуперативном торможении. Начиная с 1924 г., Алексей Борисович сосредоточивает свое внимание в основном на мало исследованном вопросе о нагревании тяговых электродвигателей в условиях работы на линии и на обосновании выбора их мощности. Необходимо особо отметить разработку Алексеем Борисовичем теории тепловых постоянных, над дальнейшим развитием которой он продолжал работать до последних дней жизни.

Одновременно им проведена большая работа по обоснованию электрического расчета контактной сети и разработана теория расчета по методу подвижных нагрузок. Эта теория получила всеобщее признание и широкое распространение в практике проектирования энергоснабжения электрических железных дорог.

В 1930 г. А. Б. Лебедев написал книгу «Расчеты элементов электрических железных дорог». В трудах Академии наук СССР за 1939 г. опубликована его работа «К вопросу о методике выбора системы электрической тяги», которая явилась методической основой исследований по вы-

бору системы электрической тяги для железных дорог СССР. Венцом литературной работы Алексея Борисовича является его книга «Основы электрической тяги», изданная в 1937 г. и по справедливости считающаяся лучшим учебником и пособием по всем вопросам электрической тяги.

Параллельно с работой в Ленинградском политехническом институте им. Калинина Алексей Борисович с 1929 по 1936 г. заведывал кафедрой электротяги в Московском энергетическом институте им. Молотова и с 1932 г. по день смерти кафедрой электротяги в Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Наряду с преподавательской и научной деятельностью Алексей Борисович вел большую инженерную работу. Под его руководством выполнены проекты ряда электрических железных дорог.

В 1939 г. Алексей Борисович был избран членом-корреспондентом Академии Наук СССР, где он возглавил работу по электрификации транспорта в секции Академии по научным проблемам транспорта.

Смерть унесла А. Б. Лебедева в расцвете сил и способностей. Его товарищи по работе и ученики навсегда сохранят о нем благодарную и светлую память.

Вадим Александрович Шевалин

30 июля 1941 г. скончался профессор, доктор техн. наук Вадим Александрович Шевалин, в течение многих лет плодотворно и неутомимо работавший в области электрической тяги.

Жизненный путь, пройденный Вадимом Александровичем, является достойным отражением его яркой личности, а результаты его инженерной, научной и педагогической деятельности принесли ему и кафедре электрической тяги широкую известность и большой авторитет в инженерных и научных кругах.

По окончании в 1914 г. Петроградского политехнического института по специальности «Электрическая тяга» Вадим Александрович был оставлен при кафедре для подготовки к профессорской деятельности, и с тех пор не порывал связи с кафедрой электрической тяги Ленинградского политехнического института.

Говоря об инженерной и общественной деятельности Вадима Александровича, нельзя не отметить ее широкий размах и разносторонность. Начиная с 1920 г., он работал в качестве консультанта, эксперта, члена технического совета и специальных комиссий в центральных учреждениях: Научно-техническом комитете НКПС, Центральном управлении железнодорожного транспорта, Правлении Закавказской железной дороги, Ленинградском отделении Центрального электротехнического совета, Постоянном бюро всесоюзных трамвайных съездов и др.

В качестве виднейшего специалиста по подвижному составу электрических железных дорог Вадим Александрович руководил приемкой заграничных электровозов на Закавказской железной дороге (1932 г.), участвовал в качестве председателя в комиссии по разработке технических условий на легковесный и бесшумный трамвайный вагон (1936 г.), производил приемку и испытание подвижного со-

става типа Г московского метрополитена и т. д. Особенно большая работа проведена Вадимом Александровичем по электрификации ленинградского железнодорожного узла (с 1925 г. по 1934 г.).

Научные работы В. А. Шевалина относятся, главным образом, к методике проектирования и к расчету элементов электрических железных дорог, к режимам нагрузки тяговых двигателей и к исследованиям в области подвижного состава. Из работ первой группы следует отметить: экономическое обоснование выбора товарных электровозов на основе определения экономических скоростей и весов поездов, затем исследование о рациональной величине предельных подъемов электрических железных дорог, а также определение пропускной способности электрифицированных железных дорог пригородного типа. Из работ второй группы особого внимания заслуживает работа по расчету нагревания тяговых электродвигателей в эксплуатационных условиях. Центральное место в исследованиях Вадима Александровича по вопросам подвижного состава занимают работы, посвященные реализации силы тяги электровозов.

Исследовательские работы В. А. Шевалина отличаются, с одной стороны, глубоким, оригинальным и научным анализом, а с другой стороны, большой практической ценностью для решения актуальных задач. Не меньшей известностью пользуются учебные руководства В. А. Шевалина «Тяговые расчеты электрических железных дорог и трамваев» (два издания) и «Выбор тягового электродвигателя».

Безвременная кончина прервала жизнь В. А. Шевалина. Друзья и ученики покойного сохраняют память о нем на многие годы.

Кафедра электрической тяги Ленинградского политехнического института им. Калинина



Об учебнике Б. К. Шукина по технике телеуправления

Б. К. Шукин. *ОСНОВЫ ТЕХНИКИ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ.*

Госэнергоиздат, 1945, стр. 401, 208 рис. Цена 20 руб.

Телеуправление является новой областью техники, развившейся и оформившейся сравнительно недавно. Создание хорошего учебника, достаточно полно отражающего современное состояние техники телеуправления, построенного на надлежащей теоретической основе и вооружающего студента нужными знаниями, крайне необходимо и, нужно сказать, представляет трудную задачу.

Госэнергоиздат выпустил допущенную в качестве учебника по телеуправлению книгу Б. К. Шукина «Основы техники телеуправления». По содержанию эту книгу можно разделить на две части: в первой из них, состоящей из четырех глав, излагаются принципы построения устройств телеуправления и отдельных их узлов, а во второй, содержащей также четыре главы, приводится описание схем и конструкций существующих устройств телеуправления.

Первые четыре главы содержат: краткую характеристику применяемой в устройствах телеуправления аппаратуры; сведения об элементах релейных схем и методах начертания их; сведения по теории селекции, а именно: описание основных принципов селекции и построения кодов, анализ импульсных признаков (качеств токов), применяемых в устройствах телеуправления, и влияния помех при различных видах селекции; описание различных схемных узлов устройств телеуправления. В остальных главах книги помещены: описание схем различных существующих устройств телеуправления, применяемых, главным образом, в энергетике; описание методов проектирования и монтажа устройств телеуправления; изложение вопросов выбора принципа действия устройства телеуправления для заданной его емкости и вопросов, связанных с каналами связи.

Книга Б. К. Шукина не является в СССР единственной книгой по вопросам телеуправления. До 1940 г. был выпущен ряд книг по этой дисциплине как оригинальных, так и переводных (книжки Б. К. Доманского, А. А. Солодовникова, Н. А. Лившица, М. А. Гаврилова, Б. К. Шукина и переводные: М. Шлейхера и В. Штеблейна), в которых был собран большой фактический материал в области техники телеуправления и проведена первоначальная систематизация его.

Издаваемая теперь книга Б. К. Шукина в принципиальной ее части мало отличается от его прежней книжки под названием «Телеуправление», выпущенной Оборонгизом в 1940 г. Автор сумел в своей прежней книге в известной мере подытожить опыт работы советских конструкторов, работавших в области телеуправления, собрав описания ряда разработанных в СССР устройств телеуправления и дав некоторую систематизацию их узлов. В этом отношении книжка Б. К. Шукина могла в свое время принести определенную пользу при изучении техники телеуправления.

Однако то, что более или менее соответствовало уровню техники в 1940 г., не может удовлетворить читателя в настоящее время, когда техника телеуправления сделала значительные шаги вперед как в отношении развития своей теоретической базы, так и в отношении усовершенствования самих устройств телеуправления. В этом отношении редакция книги совершенно права, когда она в своем предисловии пишет: «Представляется весьма важным собрать и систематизировать имеющийся материал по принципам действия и устройству систем телеуправления и отдельным узлам их. Это и должно образовать первоначальные основы техники телеуправления, которые в дальнейшем необходимо развивать в направлении теории и расчета узлов и структуры схем установок телеуправления».

Как отмечено выше, первоначальная систематизация

материала была уже произведена в вышедших ранее книжках. Современное состояние техники телеуправления позволяет пойти значительно дальше и именно в учебнике, который в качестве учебного руководства должен быть прогрессивным.

Посмотрим, какова теоретическая база книги Б. К. Шукина, каков объем знаний, даваемый книгой, и насколько современен содержащийся в ней материал.

Современные устройства телеуправления представляют собой в большинстве случаев сложные многофункциональные релейно-контактные схемы. До недавнего времени научной базы для расчета и проектирования таких схем не существовало. Однако 6—7 лет назад появились работы, которые значительно продвинули этот вопрос вперед. Таковы работы Шестакова (1938—1944 гг.), Nakasima (1936—1938 гг.), Shannon (1939 г.), Piesh (1939 г.) и др. Методика, изложенная в этих работах, позволяет получать структуру схем по заданным для них условиям аналитическим путем и не только производить проектирование схем, но и исследовать целые классы их. Новая методика находит все большее практическое применение и, если вследствие ее новизны нельзя было построить на ее основе, всей принципиальной части учебника, то нужно было бы по крайней мере кратко изложить сущность этой методики или иллюстрировать ее применение на более простых узлах. При этом можно было бы не ограничиваться словесным описанием различных схемных решений узлов устройств телеуправления, как это делает Б. К. Шукин, а показать, как эти схемные решения получаются из различных заданных первоначальных условий их действия и тем камым обеспечить возможность для объективного сравнения их.

Существенное значение при проектировании устройств телеуправления имеет наличие общих критериев (длительности передачи, количества контактов), позволяющих производить оценку правильности выбора принципов действия их отдельных узлов и совершенства полученной схемы в целом. Некоторые из этих критериев были предложены в 1940 г. в работах Института автоматики и телемеханики Академии наук СССР, а в 1941 г. и за границей (O. Plechl и O. Lardelli). Эти критерии были применены, в частности, при выборе основных решений для одной из последних схем ВВС (работы O. Lardelli). В книге Б. К. Шукина об этих критериях ничего не упоминается.

Автор не применяет надлежащего математического аппарата и для разрешения другого важного вопроса теории телеуправления, а именно для выяснения зависимости количества сигналов от числа импульсов и импульсных признаков («качеств тока» по терминологии Б. К. Шукина). Количество сигналов в устройствах телеуправления определяется числом возможных комбинаций импульсов, передаваемых по линии связи. Поэтому было бы естественным использовать для определения количества их математический аппарат комбинаторики, который позволяет сделать это просто и главное в форме, достаточно общей для всех применяемых в устройствах телеуправления методов комбинаторики Б. К. Шукин применяет в своей книге методы комбинаторики в самой элементарной форме и поэтому принужден ограничиться анализом только некоторых простых случаев селекции, в то время как эти методы позволяют рассмотреть селекцию в самых сложных случаях и в наиболее общем виде. Единственный частный случай сложной селекции, рассмотренный в книге (стр. 88—92), не является характерным и не дает общей методики определения числа сигналов.

Телеуправление применяется в настоящее время в широких масштабах в самых различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Оно нашло большое применение в энергосистемах при централизации управления сетями больших районов; на железнодорожном транспорте для управления железнодорожными стрелками и путевыми сигналами, а также подстанциями электрифицированных железных дорог; в коммунальном хозяйстве для управления уличным освещением, водопроводными и газовыми сетями, и т. д. Устройства телеуправления, применяемые в этих областях, имеют свои, иногда резко отличительные особенности как в отношении принципов действия их, так и в отношении конструктивного выполнения и условий применения. Курс телеуправления во всех наших вузах (в том числе энергетических) читается на специальности «Автоматика и телемеханика», выпускающей специалистов широкого профиля, а в частности по конструированию и производству приборов и устройств телемеханики. Поэтому в книге по основам техники телеуправления, хотя она и предназначена для энергетических вузов, особенности устройств телеуправления, применяющихся в различных областях техники, должны были бы получить надлежащее освещение, тем более, что при предварительном ознакомлении студента с общими принципами построения устройств телеуправления сделать это нетрудно. Но в книге Б. К. Шуккина описываются устройства телеуправления, применяющиеся преимущественно только в энергосистемах, да и то, как будет показано ниже, в совершенно недостаточной мере. Автор помещает пространные описания этих устройств с подробным анализом токопрохождения в них, занимая этим около 30% объема книги, и совершенно не находит места для описания техники телеуправления, применяемой в других областях.

Полностью исключить из учебника подробные описания выполненных устройств телеуправления, конечно, нельзя. Следовало бы, однако, оставив такое описание для двух-трех наиболее совершенных и современных систем, уделить достаточно внимания характеристике общего развития техники телеуправления и анализу применяющихся в различных отраслях народного хозяйства методов телеуправления, с тем, чтобы дать студенту широкие знания, позволяющие свободно оперировать всеми применяющимися принципами, в зависимости от заданных условий.

Совершенно недостаточное внимание уделено в книге Б. К. Шуккина каналам связи. Использование каналов связи для телеуправления имеет свою специфику, пренебрежение которой приводило уже не раз к большим ошибкам. Особенно специфичным является использование для телемеханики каналов связи, получаемых при помощи токов высокой частоты на линиях высокого напряжения. С этой целью выпускаются специальные высокочастотные посты для работы устройств телеуправления. Передача высокой частотой применяется также и для телеуправления стрелками и путевыми сигналами на железнодорожном транспорте. В книге Б. К. Шуккина каналам связи посвящено всего лишь несколько страниц, на которых излагаются самые элементарные и общие сведения по уплотнению каналов связи, которые можно найти в любом учебнике связи. Описание же устройств, специфичных для телеуправления, отсутствует. Не отражены также методы расчета линейных цепей в многоканальных устройствах телеуправления.

Описательный материал, помещенный в книге, значительно устарел и не характеризует современного состояния техники телеуправления даже в той части, которой он касается. Так, по системам, разработанным в СССР, описаны: многоканальные системы Института автоматики и телемеханики Академии наук СССР, Электропрома и Ленинградского опытного завода автоматики и телемеханики (ЛОЗТА); распределительные системы РТУ-8 и ВРТ-3 и комбинаторные РВК-Б и СК. Большинство этих систем практически нигде не применялось и является лишь результатом лабораторных разработок, а такая система, как ВРТ-3, значительно устарела. Она была разработана центральной лабораторией Мосэнерго в 1937 г. и с того времени уже дважды модернизировалась (в настоящее время в Мосэнерго применяется система ВРТ-5).

Наряду с наличием этого устаревшего материала в книге отсутствует описание более поздних по разработке и более совершенных систем телеуправления, а именно:

КРП и КРВ, разработанных ЛОЗТА. Эти системы были приняты и рекомендованы к производству. Опускать описание их в учебнике по телеуправлению не следовало.

Рассмотрение разработанных ранее и не получивших практического применения или устаревших устройств имело бы смысл, если бы автор на основе их критического анализа показал их недостатки и дал характеристику развития техники телеуправления. Однако этого в книге нет.

Приводимые в книге материалы по различным системам телеуправления также сильно устарели. Например, материалы по устройствам телеуправления Siemens (многоканальная, распределительная и дуальная системы) относятся к 1928—1930 гг. После этого был выпущен ряд новых типов устройств телеуправления, которые по новизне своих принципов действия представляют большой интерес; описания новых типов были опубликованы в 1933 и 1939 гг. Устройства АЕГ, описанные в книге (многоканальная, распределительная и комбинаторная системы), относятся к 1932—1933 гг. Эти устройства являются также устаревшими; в последнее время фирма АЕГ применяла выпущенную значительно позже комбинаторно-распределительную систему, описание которой было опубликовано в 1938 г.

Американская практика телеуправления отражена в книге весьма слабо. Из девяти различных типов устройств телеуправления, которые были выпущены фирмой GEC, приведено только описание многоканальной системы, относящейся к 1923 г. и почти никакого интереса для наших условий не представляющей. Из восьми систем Westinghouse описана также одна имеющая наиболее ограниченное применение, так как она требует четырех проводов. Выпуск ее относится к 1931 г. Более же поздние типы устройств телеуправления Westinghouse, в частности, представляющая большой интерес комбинаторная система, (впервые примененная на электростанции Bolder-Dam и описанная в 1938 г.), в книге не приведены. Практика английских фирм (Metro-Vickers и Strowdger), а также швейцарской—BBC в книге совершенно не отражена.

Нужно отметить, что все иностранные системы телеуправления, материалы по которым приведены в книге Б. К. Шуккина, известны в СССР из ранее выпущенных книг по телемеханике.

Совершенно недостаточный и устарелый материал имеется в книге по конструктивному выполнению устройств телеуправления. Приведенные в книге иллюстрации (рис. 189—192, 196—197) случайны и не характеризуют современных конструкций этих устройств. Ничего не сказано о появившихся в последнее время упрощенных устройствах телеуправления (например, Visicode Westinghouse, 5 point Supervisory Control GEC и др.).

Недостаточно освещен в книге вопрос о конструктивном выполнении органов управления и сигнализации. Наиболее крупные электротехнические фирмы разработали в настоящее время специальные конструкции органов управления и сигнализации для устройств телеуправления, весьма экономные по своим размерам и приспособленные для размещения их в схемах диспетчерских щитов. Приводимые в книге в качестве примеров конструктивного выполнения органов управления и сигнализации фотографии (рис. 95, 96 и 124) совершенно не характеризуют современных конструкций их.

Описание электрических реле и распределителей, имеющееся в первой главе книги, носит совершенно общий характер. Характеристик, которые могли бы быть использованы студентом при проектировании, не приводятся.

Во второй главе не упоминается о широко применяющихся в последнее время методах получения замедления на включение и отключение с комбинацией конденсаторов и дополнительных обмоток, позволяющих легко регулировать величину замедления и значительно упрощающих схемы генераторов импульсов. Не упоминается также о методах стабилизации работы генераторов импульсов при изменении величины напряжения питающего тока.

При изложении методов графического временного анализа схем автор неправильно трактует временные диаграммы. Как двухлинейная, так и трехлинейная, диаграммы при выделении линий верхнего и нижнего контактов, как это делает автор, не дают правильного отображения работы схемы во времени и поэтому пользоваться таким отображением не следует. Преимущества трехлиней-

ных временных диаграмм, о которых говорит автор, поэтому не обоснованы.

Все то, что говорит автор о качестве тока в части «взаимозависимости» и «обратимости» (глава III, раздел 12), в значительной части надуманно. Характеристика качества тока с этой стороны будет убедительной только в том случае, если она будет подтверждена данными практики и прежде всего данными о помехах, имеющих место на линиях связи. Между тем, то немногое, что известно в этой области, не приводится Б. К. Шукиным и опровергает его заключения. Временные качества автор относит к числу «легко обратимых», что он считает крупным недостатком. Однако, именно эти качества применяются во всех, наиболее современных и универсальных устройствах телеуправления.

В той же главе, говоря о групповом избрании, автор упускает из рассмотрения такой важный вопрос, как вопрос о наиболее выгодном распределении сигналов в группах и не дает никаких указаний по поводу того, как выбирать число групп, число сигналов в каждом из них и т. д., чтобы получить наиболее простые и наиболее экономные по числу контактов и в отношении времени передачи схемы.

Никакой оценки группового выбора с этой точки зрения нет также и в главе 8, где рассматриваются вопросы проектирования устройств телеуправления, хотя для проектирования это имеет исключительно важное значение.

Ряд недостатков имеется в рассмотрении схемных узлов устройств телеуправления (глава IV). Приведенный здесь материал также не полон и в ряде случаев содержит ошибки. Неправильно, например, указание на применение в быстродействующих устройствах телеуправления, построенных на электронно-ионной аппаратуре, линейных пиратронных поляризованных реле. Применение их нерационально, и в единственной, применяющейся в настоящее время в США, системе с электронными переключателями радиального типа, эти реле не употребляются. Неправильна схема фиксирования частотных качеств (фиг. 78). Практически она неприемлема, ибо не имеет достаточных развязок между отдельными контурами, а как принципиальная она не отражает обычно применяемых методов и поэтому не может дать читателю правильного представления о них.

При рассмотрении схем начинающих реле (раздел 18) не упоминается, что при включении на срабатывающие обычно применяются конденсаторы для удлинения импульсов, получающихся от переходных контактов. При наличии конденсаторов приводимые автором выкладки и его выводы о преимуществах схемы включения реле на отпущение становятся неверными.

При описании схем шифраторов и дешифраторов (разделы 19 и 20) автор ничего не упоминает о применении вентильных элементов, значительно упрощающих релейно-контактные схемы (первые указания на это появились в 1938 г.). Схемы защиты от ложных приказов (стр. 212—224) рассматриваются вне всякой зависимости от схем шифраторов и дешифраторов. Между тем правильное сопоставление их может быть сделано только при совмест-

ном рассмотрении этих узлов и, в частности, при применении критериев для количественной оценки, о которых упоминалось выше и которые автор не применяет.

Отметим, наконец, неудачную, а в ряде случаев и неправильную классификацию и терминологию, применяемую в книге. Вопрос о классификации устройств телеуправления специально обсуждался в конце 1940 г. на совещании, созванном Комитетом технической терминологии Академии наук СССР. На этом совещании были приняты две классификационные схемы, на основе которых должна была быть создана единая классификация. Б. К. Шукин предлагает свою классификацию, которая не имеет никаких преимуществ перед упомянутыми и, наоборот, имеет существенные недостатки и противоречия. В качестве примера приведем основную классификацию методов селекции Б. К. Шукина (рис. 50, стр. 64), на которой в дальнейшем строится все изложение материала, имеющегося в книге. Автор различает: простую качественную селекцию, распределительную селекцию, качественно-комбинационную селекцию и кодовую селекцию. Само сопоставление этих терминов говорит о том, что они неправильны. Например, если в принципах качественной селекции нужно характеризовать некоторые из них как простые, то должны существовать принципы «сложной» качественной селекции. Если же их нет, то это значит, что термин «простой» не определяет в достаточной мере специфичности данной группы методов селекции и не противопоставляет их другим и поэтому его не следует применять. Точно так же, если имеются принципы селекции, характеризующиеся качественными признаками, то в классификации их нужно противопоставлять принципам селекции, характеризующимся количественными признаками. Если же последних нет, то это значит, что термин «качественный» не соответствует признакам, по которым делаются принципы селекции. Отметим, что классификационная схема рис. 50 помимо неправильности терминологии не отражает всего многообразия существующих устройств в телеуправлении. Например, существуют устройства телеуправления, в которых импульсы передаются частично параллельно во времени по различным проводам, частично последовательно. В классификационной схеме они отсутствуют, так же, как отсутствует и описание их в самой книге.

К выпускаемому в настоящее время учебникам должно предъявляться особо повышенные требования в свете поставленной товарищем Сталиным задачи: «не только догнать, но и превзойти в ближайшем время достижения науки за пределами нашей страны». В соответствии с этой задачей наши высшие технические учебные заведения должны выпускать специалистов, хорошо знающих и умеющих применять новую технику и, кроме того, могущих творчески развивать и совершенствовать ее. Книга Б. К. Шукина, отставшая по своей теоретической базе и по имеющемуся в ней материалу на семь—восемь лет и содержащая ряд погрешностей не может обеспечить подготовку таких специалистов.

Кандидат техн. наук М. А. ГАВРИЛОВ



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

G. F. Tracy, W. F. Tice. Измерение мгновенных значений полных сопротивлений Z''_d и Z''_q синхронных машин. *El. Eng., стр. 70 (Trans.), № 2, 1945.*

Американские стандарты рекомендуют определять Z''_d и Z''_q синхронных машин или из опыта однофазного питания при неподвижном и замкнутом накоротко роторе, или по осциллограмме ударного короткого замыкания. В первом случае ротор должен быть предварительно установлен в определенном положении, во втором требуется сложный опыт и наличие осциллографа.

Авторы реферируемой статьи предлагают определять Z''_d и Z''_q из опыта трехфазного питания статора при неподвижном и замкнутом накоротко роторе, причем относительное положение ротора может быть произвольным.

Искомые значения мгновенных значений полных сопротивлений могут быть получены из выражений, аналитический вывод которых полностью приведен в реферируемой работе. Эти выражения следующие:

$$\dot{Z}''_d = \frac{\dot{U}_1 + \dot{U}_2 e^{j2\beta}}{i_1 + i_2 e^{j2\beta}}; \quad \dot{Z}''_q = \frac{\dot{U}_1 - \dot{U}_2 e^{j2\beta}}{i_1 - i_2 e^{j2\beta}}$$

Измерения производятся дважды: один раз со стороны статора и другой — со стороны ротора. В первом случае к обмотке статора подводится трехфазное напряжение такой величины, чтобы ток был приблизительно равен номинальному. Порядок следования фаз должен быть известен; обозначим его $a-b-c$. Измеряются три линейных напряжения: U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} ; три линейных тока: I_a, I_b, I_c ; четыре показания однофазного ваттметра: $P_{a(ab)}, P_{a(ac)}, P_{b(bc)}, P_{b(ba)}$. Здесь первые индексы обозначают фазу, в которую включена последовательная обмотка ваттметра, а вторые, парные (индексы в скобках) — фазы, к которым присоединена параллельная обмотка ваттметра. При этих измерениях обмотка ротора замыкается накоротко. Если

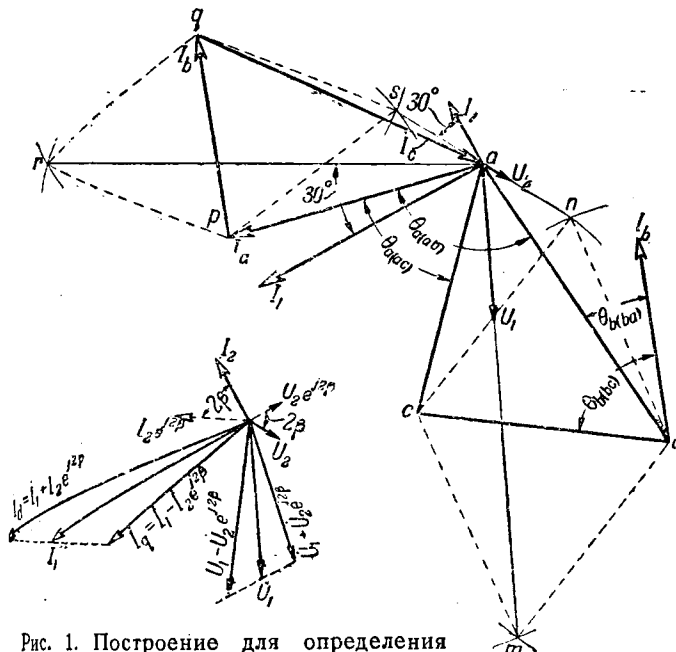


Рис. 1. Построение для определения числителя и знаменателя выражений Z''_d и Z''_q .

же необходимо определить значение полных сопротивлений синхронного двигателя, которые он имеет в рабочей пусковой схеме, то обмотка ротора замыкается на свое разрядное сопротивление. Во втором случае к обмотке ротора подводится однофазное напряжение номинальной частоты и по величине равно приблизительно номинальному напряжению возбуждения. Обмотка статора остается разомкнутой и измеряются индуцируемые в ней три линейных напряжения: U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} .

По результатам обоих измерений производится построение, приведенное на рис. 1. Порядок построения следующий:

1. По напряжениям, измеренным при питании со стороны статора, строится треугольник линейных напряжений abc и известным методом определяются составляющие:

\dot{U}_1 — прямой последовательности, как одна треть am , и \dot{U}_2 — обратной последовательности, как одна треть an .

2. Величина измеренного тока в фазе a откладывается как вектор тока \dot{I}_a под углом $\theta_{a(ab)}$ к вектору

напряжения ab . При этом $\cos \theta_{a(ab)} = \frac{P_{a(ab)}}{I_a U_{ab}}$. Затем из

точки b проводится вектор тока \dot{I}_b , положение которого определяется аналогичным образом. Замыкающая сторона qa должна дать значение тока \dot{I}_c .

3. Определяются составляющие: \dot{I}_1 — прямой последовательности, как $\frac{\dot{a}r}{\sqrt{3}}$, повернутый против часовой стрелки на 30° и \dot{I}_2 — обратной последовательности, как $\frac{\dot{a}s}{\sqrt{3}}$,

повернутый по часовой стрелке на 30° .

4. По результатам измерений напряжений при питании со стороны ротора определяются значения отношений

$\frac{U_{ab}}{U_{bc}}, \frac{U_{bc}}{U_{ca}}, \frac{U_{ca}}{U_{ab}}$ и затем (по графику рис. 2) угол β . Для

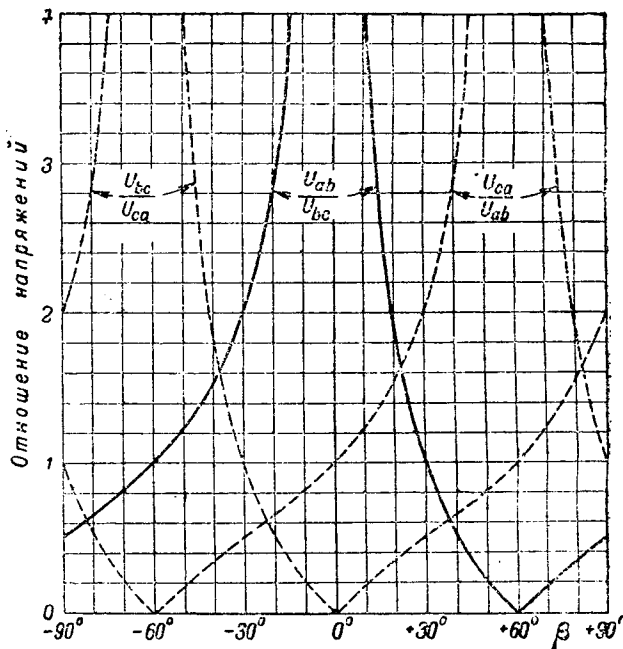


Рис. 2. График для определения угла β .

каждого из трех полученных отношений напряжений получается два значения β . Действительным будет то, которое является одинаковым для всех трех отношений.

5. Вектор U_2 поворачивается против часовой стрелки на угол 2β и складывается с вектором U_1 , а также вычитается из него. Вектор I_2 поворачивается против часовой стрелки на угол 2β и складывается с вектором I_1 , а также вычитается из него. В результате получают все необходимые данные для определения Z''_a и Z''_q по вышеприведенным формулам.

Вышеизложенный метод определения мгновенных значений полных сопротивлений не требует поворачивания ротора, но обработка результатов измерений занимает много времени. Автор настоящего реферата применяет при промышленных испытаниях менее точный, но зато более простой метод, основанный на допущении, что величина мгновенного значения полного сопротивления при однофазном питании статора изменяется в зависимости от положения ротора по синусоидальному закону. В этом случае для определения Z''_a и Z''_q достаточно трижды измерить Z'' при любом положении ротора, подводя к обмотке статора однофазное питание сначала к фазам *ab*, затем *bc* и, наконец, *ca*. Этот метод дает достаточно приемлемые результаты и применяется также в ВЭИ руководителем лаборатории промышленных испытаний инж. М. И. Земляным.

Кандидат техн. наук **В. В. ЕНЬКО**

ЭЛЕКТРОПРИВОД

G. W. Neumann, W. C. Rauba. Современные перегрузочные краны. GER, стр. 7—12, № 12, 1945.

Приводится описание крана грузоподъемностью 11 т, перегружающего за час 750 т руды. Кран имеет три группы электродвигателей для обслуживания трех родов движения: захвата руды грейфером и его подъема, перемещения тележки с грейфером и кабиной вдоль фермы крана и, наконец, передвижения всего моста крана по специальным путям. Захват руды и подъем грейфера обслуживается двумя закрытыми электродвигателями по 180 kW, серийного типа, с принудительной вентиляцией, рассчитанными для длительной работы под полной нагрузкой. Один из этих двигателей обслуживает загибание челюстей грейфера, а второй—его подъем. В целях обеспечения плотности загибания челюстей при подъеме грейфера передача от первого двигателя имеет меньшее передаточное число; поэтому при данной скорости подъема запирающий двигатель работает с большим вращающим моментом, чем второй, держащий, двигатель. Первый двигатель покрывает 57% момента, необходимого для подъема грейфера, а второй только 43%. Каждый из этих двигателей снабжен шунтовым соленоидным тормозом для экстренного и эксплуатационного торможения. Перемещение тележки с грейфером и кабины водителя вдоль фермы крана обслуживается рабочими параллельно двумя закрытыми электродвигателями по 138 kW, также серийного типа и с принудительной вентиляцией. Чистый воздух для вентиляции двигателей подъема грейфера, а также двигателей перемещения тележки, подается двумя центробежными вентиляторами с электрическим приводом. Управление пуском этих вентиляторов заблокировано так, что они запускаются раньше, чем подается ток на обслуживаемые ими основные двигатели. Передвижение моста обслуживается четырьмя закрытыми компаундными двигателями: двумя по 48 и двумя по 33 kW. Имеется устройство для плавной остановки моста, а также рельсовые клещи с электрическим приводом.

Управление всеми двигателями крана—контакторное, сосредоточено в кабине крановщика. Управление подъемом—реверсивное с рекуперативным торможением при опускании. Силовые цепи для запирающего и держащего двигателя одинаковы, но подбор реостатов несколько иной, что меняет их нагрузочные кривые. При полностью загруженном грейфере усилие держащей линии около 10 т, а запирающей—12 т, что объясняется различием передаточных чисел от двигателей. При опускании порожнего грейфера большая часть нагрузки ложится на держащий двигатель. Поэтому при опускании грейфера его челюсти не стремятся

закрываются. При опускании же грузевого грейфера, во избежание преждевременного раскрытия челюстей, на запирающий двигатель возлагается основная доля нагрузки. В цепи запирающего двигателя установлен быстродействующий контактор, управляемый специальным реле, реагирующим на величину нагрузки грейфера. При пустом грейфере запирающий двигатель питается пониженным напряжением. Если же грейфер полный, то оба двигателя получают полное напряжение, и реле нагрузки не дает отключиться контактору запирающего двигателя. После окончания набора руды и закрытия челюстей, запирающая линия нагружена, а держащая ослаблена. Подъем грузевого грейфера одним лишь запирающим двигателем невозможен, ибо в этом случае сразу сработает реле остановки в цепи этого двигателя.

Управление двигателями перемещения тележки с кабиной и грейфером вдоль моста—также дуплексное и реверсивное. Каждый двигатель имеет свой комплект контакторов и индивидуальный линейный контактор. В аварийных случаях возможна работа на одном двигателе, но с пониженной скоростью. Перемещение тележки должно совершаться с максимальной скоростью, за исключением двух зон перемещения тележки к крайним ограничительным упорам. Эти зоны ограждены специальными выключателями, установленными на пути движения тележки и срабатывающими от ее механического воздействия. Скорость движения тележки измеряется тахогенератором, действующим на комплект реле напряжения.

Управление передвижением моста также дуплексное и реверсивное. Привод рельсового тормоза заблокирован с движением моста, так что его нельзя сдвинуть, пока не опущены клещи тормоза. Тормоз включается непосредственно главным выключателем моста и опускается автоматически при сдвиге главного выключателя с положения «выключено». Управление движением моста ножное, кнопочное, причем возможно включение ног моста по отдельности и обоих сразу.

Для плавной остановки моста предусмотрена автоматическая последовательность срабатывания контакторов при замедлении, после чего с некоторой выдержкой времени срабатывают тормоза. Предусмотрена также возможность аварийной остановки моста.

На мосту установлен анемометр для измерения скорости ветра. Его назначение—предотвращение работы крана при слишком большой скорости ветра. Анемометр действует на специальный контактор, который при скорости ветра, выше допустимой, отключает мост и выключает сирену. Для предупреждения опасного перекоса на мосту установлены два ограничительных выключателя, измеряющих угловое смещение между ногами моста и его основной фермой.

Инж. **А. Г. ФАЙН**

H. V. Green. Сравнение различных исполнений электрического привода подъемников. GER, стр. 39, № 6, 1945.

В статье рассмотрены различные типы электропривода подъемников на переменном и постоянном токе при использовании автоматизации и механических тормозов. Каждое решение иллюстрировано принципиальной схемой включения двигателя и механическими характеристиками (момент на валу в функции скорости) как двигателя, так и тормоза при подъеме и спуске груза, и сопровождается оценкой его с точки зрения соответствия предъявляемых эксплуатационных требований и получаемых механических характеристик, надежности, плавности и точности работы, к. п. д. и целесообразности применения той или иной схемы в зависимости от мощности устройства. В конце статьи имеется указание на возможность получения весьма благоприятных для подъемных устройств механических характеристик при использовании системы Леонарда с амплитудным возбудителем.

Автор статьи не приводит новых данных о проектировании привода для подъемных устройств, однако критическая оценка различных, применяемых в практике, приводов и их сравнение могут быть с успехом использованы лицами, работающими в области проектирования подъемных устройств.

Инж. **И. И. ШИПУЛИН**

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И НИЗКОВОЛЬТНАЯ АППАРАТУРА

Электронное рентгеновское реле времени. *Westinghouse Eng., стр. 29, № 1, стр. 54, № 2, 1945.*

Для получения четкой рентгенограммы грудной клетки необходим учет индивидуальности пациента и соответственный выбор величины напряжения, приложенного к рентгеновской трубке, значения тока, протекающего через трубку, и времени экспозиции. Правильная оценка перечисленных факторов требует высокой квалификации персонала и отнимает время; последнее обстоятельство имеет большое значение при большом количестве исследуемых объектов. Массовые рентгенографические исследования делаются на миниатюрном флюорографе. Изображение, созданное на флюоресцирующем экране проходящими через исследуемый объект рентгеновскими лучами, фотографируется на пленку.

Электронный прибор позволяет автоматизировать процесс съемки. Прибор оценивает все факторы для получения одинакового почернения пленки, независимо от различия объектов. В основном прибор состоит из фотоэлемента, конденсатора и триггера. Фотоэлемент реагирует на световое излучение флюоресцирующего экрана; в конденсаторе накапливается заряд от тока, текущего через фотоэлемент; триггер выключает аппарат в нужный момент, когда достигается определенная степень почернения пленки. Время экспозиции составляет примерно 0,03 сек., однако для электронного прибора этого вполне достаточно.

Возможность порчи пленки при применении описываемого прибора устраняется, а оператору приходится лишь помещать пациента перед флюоресцирующим экраном, поворачивать рентгеновскую трубку и устанавливать напряжение: высокое, среднее, низкое.

Инж. И. И. ЗАСЛАВСКИЙ

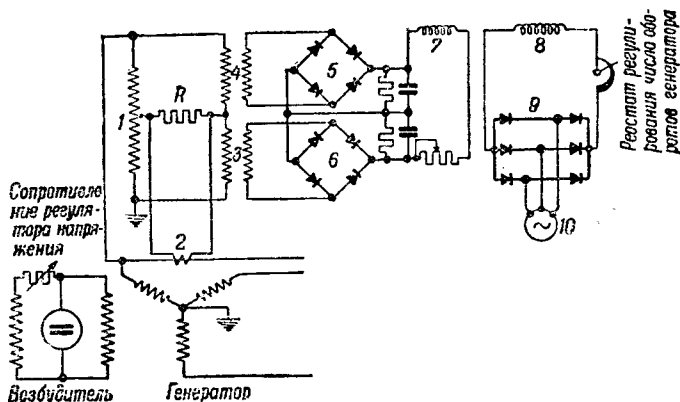


Рис. 1. Принципиальная схема электрических цепей регулирования числа оборотов и нагрузки самолетного генератора.

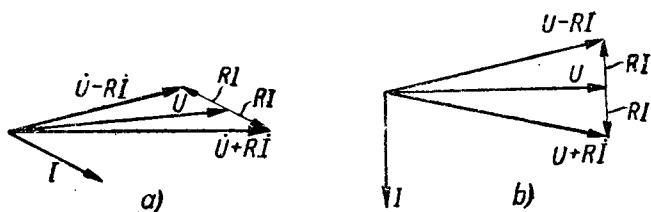


Рис. 2. Векторные диаграммы цепи регулирования нагрузки.

L. G. Levoу. Параллельная работа самолетных генераторов на частоте 400 Hz. *El. Eng., стр. 811—816, № 12, 1945.*

В отличие от генераторов, работающих в стационарных установках, самолетные генераторы находятся в значительно более тяжелых условиях. Мощность авиамоторов обычно в 50—100 раз превышает мощность генераторов, скорость вращения их может изменяться в широком диапазоне (1 : 3), при очень больших ускорениях.

В связи с внедрением переменного тока на самолете особо остро стоят задачи: работы генераторов в синхронизме, обеспечения постоянства частоты, напряжения и надлежащего распределения нагрузки между генераторами. Применяемые в настоящее время в США генераторы имеют восемь полюсов, скорость—6 000 об/мин, при частоте 400 Hz. Для сохранения синхронизма необходимо, чтобы взаимное геометрическое смещение роторов генераторов не превышало 20°, а для равномерного распределения нагрузки геометрическое смещение роторов генераторов не должно превышать 2°. Передача вращающего момента от авиамотора к генератору—гидравлическая. Передаточное число регулируется клапанами, управляемыми электрическими импульсами, специального регулятора. Регулирование скорости вращения ротора генератора осуществляется следующим образом: небольшой тахогенератор 10 (рис. 1), приводимый в движение ведущим валом гидropередачи, генерирует ток, пропорциональный числу оборотов, который через выпрямители 9 поступает в управляющую катушку 8, воздействующую механически на клапаны гидropередачи. Регулирование нагрузки генератора достигается воздействием регулятора на скорость вращения ведущего вала гидropередачи так, чтобы при увеличении нагрузки на данный генератор его скорость уменьшалась. Это регулирование осуществляется следующим образом: напряжение одной из фаз генератора поступает на автотрансформатор 1, а от трансформатора тока 2 ток поступает в сопротивления R, следовательно, токи в трансформаторах 3 и 4 пропорциональны (соответственно) суммам и разностям векторов напряжения автотрансформатора и падения напряже-

Самолетные генераторы

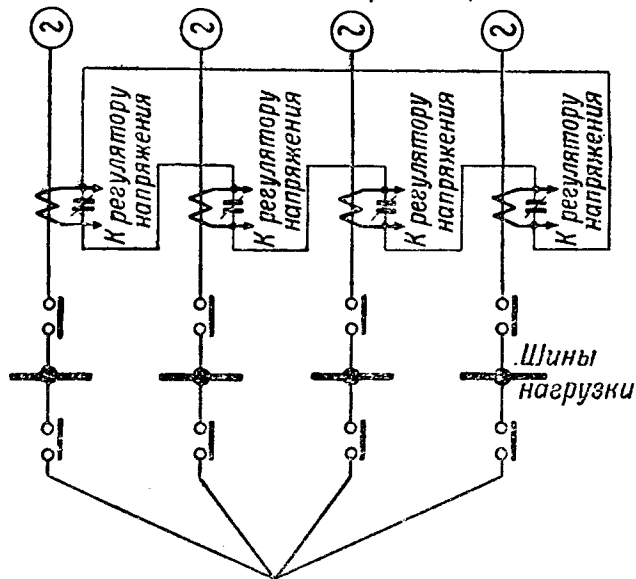


Рис. 3. Схема соединения трансформаторов тока, обеспечивающих регулирование реактивных нагрузок генераторов.

ния в сопротивлении R; токи трансформаторов 3 и 4 после выпрямления выпрямителями 5 и 6 взаимно вычитаются и их разность поступает в катушку 7, которая находится на одном сердечнике с катушкой 8, воздействующей механически на клапаны гидropередачи. Такое регулирование допускает понижение частоты системы, при полной нагрузке, не более 5% от номинальной.

На рис. 2 показаны векторные диаграммы токов и напряжений цепей регулирования нагрузки. Рис. 2а соответ-

стствует смешанной нагрузке. В этом случае в катушку 7 поступает ток, пропорциональный $(\dot{U} + R\dot{I}) - (\dot{U} - R\dot{I})$. Рис. 2 соответствует чисто реактивной нагрузке. В этом случае ток в катушке 7 равен нулю, следовательно, регулятор не реагирует на реактивную нагрузку генератора. Распределение реактивных нагрузок между генераторами, работающими параллельно, обеспечивается дифференциальной токовой компенсацией (рис. 3). В этом случае ток каждого трансформатора тока воздействует на регулятор напряжения своего генератора. При отключении какого-либо генератора вторичная обмотка его трансформатора тока замыкается шкоротко блокконтактами выключателя этого генератора.

Лабораторные испытания были проведены с двумя генераторами по 30 kW, 40 kVA, 400 Hz. Каждый генератор вращался авиамотором в 450 л. с.

Испытания показали, что генераторы быстро синхронизируются и устойчиво работают при самых тяжелых условиях: например, при включении на параллельную работу генераторов с расхождением роторов на 180 электрических градусов, а также при работе авиамоторов с различными числами оборотов и ускорении вращения одного из авиамоторов.

Генератор 40 kVA вместе с возбудителем весит 35,4 kg. Гидропередача к этому генератору весит 25 kg, регулятор и вспомогательные механизмы весят 40,8 kg, тахогенератор 1,4 kg.

Инж. А. Б. ТИМОФЕЕВ

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА

Электрификация железной дороги Брюниг. *Engineering*, стр. 514, № 4171, 21 декабря, 1945.

Железная дорога Брюниг (Brünigbahn), длиной 74 km, с шириной колеи 1 m входит в систему Швейцарских федеральных железных дорог. На 9-километровом перевальном участке дороги, с уклонами до 80 ‰, имеется 4 участка зубчатой дороги. При паровой тяге скорость была ограничена 60 km/h, а на участке зубчатой дороги—12 km/h.

1942 г. была закончена электрификация на однофазном токе 15 kV, 16 2/3 Hz, всей линии, и она была включена в общую систему электрических железных дорог Швейцарии. Питание участка обеспечивается от тяговой подстанции Eppenbüske, возле Люцерна, которая вследствие увеличения района питания была расширена.

В связи с электрификацией был полностью обновлен подвижной состав дороги. Паровозы были заменены моторными вагонами в количестве 16 единиц. Длина вагона 14,6 m, полный вес—54 t, сцепной вес 39 t. Вагон покоится на трех двухосных тележках, из которых две крайние—обычные тележки, колеса которых работают сцеплением с рельсами. Средняя тележка работает только на участках зубчатой дороги, для чего ее оси снабжены зубчатками. Крайние тележки стандартного типа Швейцарских федеральных железных дорог. Каждая ось тележки имеет привод от двигателя часовой мощности 209 kW, с подвеской трамвайного типа и зубчатой передачей при передаточном числе 5,31 : 1. Диаметр колес—900 mm. Средняя тележка сварного типа, диаметр ее колес—710 mm. Износ бандажей колес компенсируется регулировкой рессорного подвешивания. В специальных подшипниках в раме укреплены две оси с зубчатками. Каждая из них имеет привод от двигателя через двойную зубчатую передачу с передаточным числом 11,42 : 1.

Мощность двигателя: часовая 255 kW, длительная 231 kW. Вход на участок зубчатой дороги облегчается тем, что в шестерни передачи включены пружины, смягчающие удар шестерни о рейку. Оси зубчатки и привода имеют тормозные барабаны.

Тормозное оборудование вагона включает: автоматический воздушный тормоз Вестингауза, электрический и ручной тормозы.

Электрический тормоз применяется при езде по участку зубчатой дороги, как рабочий. Он работает на сопротивление, установленные на крыше вагона. При электрическом торможении все обмотки возбуждения тяговых двигателей

включаются последовательно с якорями двигателями средней тележки и со специальным генератором возбуждения. Изменением возбуждения последнего можно регулировать скорость в пределах от 3 до 8 km/h.

Ток для управления и освещения получается от двух аккумуляторных батарей и выпрямителя.

Электрическое оборудование размещено в середине вагона. По бокам имеется два багажных отделения, а в каждом конце—кабина машиниста. Пассажирских мест в вагоне не имеется.

Скорость на участках сцепления при электрической тяге повышена до 80 km/h.

Инж. Л. А. ВИСЛОУХ

СВЕТОТЕХНИКА

S. G. Hibben. Как создаются источники света. *J. Frankle. Inst., стр. 391—401, № 5, 1945.*

Статья посвящена вопросам развития источников света, в частности, флюоресцентных ламп. Эти лампы могут быть усовершенствованы за счет увеличения эффективности фосфоров и выхода ультрафиолетового излучения, а также за счет конструктивных изменений. Можно отметить стремление к развитию мощных ртутных ламп, в которых достигнуты светотдача свыше 60 lm/W и срок службы порядка 5 000—10 000 h. Интересна новая экспериментальная лампа с парами теллура, которая дает непрерывный спектр и излучает при высоких рабочих температурах золотистый свет.

Виды бактерицидных ламп обогатились еще одной лампой, сделанной из нового стекла вайкор, обладающего высокой и устойчивой прозрачностью до 2 000 Å.

Для стерилизации и лечения кожных болезней широко применяется увиолевая лампа с тонким стеклянным окошком.

Научные силы работают сейчас над использованием коротковолновой энергии радиолокационного интервала для возбуждения, свечения, над созданием новых люминесцирующих пигментов и т. д.

Кандидат техн. наук Р. Г. ИЗВЕКОВ

M. Luckiesh, A. H. Taylor. Лучистая энергия флюоресцентных ламп. *Magazine of Light*, стр. 15—17, 22, № 2 1945.

Введение новых источников света и коренные изменения в практике выполнения осветительных установок часто сопровождаются различными жалобами и встречается с недоверием. Достаточно вспомнить, что применение ртутных ламп низкого давления (Купер-Хьюитта) для осветительных целей сполучествовали жалобы на вредное действие их ультрафиолетового излучения не только на глаза, но даже на кожу. Линейчатому спектру этих ламп приписывалось вредное влияние на зрение. Инфракрасное излучение ламп накаливания неоднократно рассматривалось с точки зрения отрицательного его биологического действия, хотя опытом такой эффект установлен не был. Даже бедный ультрафиолетовый спектр ламп накаливания вызвал опасения вредности, когда были выпущены так называемые «лампы дневного света» в колбах из сине-зеленого стекла.

В настоящее время имеются аналогичные жалобы на флюоресцентные лампы.

Биологическое действие ультрафиолетового света зависит не только от длины волны излучения, но также от времени экспозиции. Без количественного измерения этих факторов все рассуждения на эту тему неосновательны. В связи с этим авторы приводят данные точных измерений ультрафиолетовой радиации для естественных условий и флюоресцентной лампы белого света.

Мощность ультрафиолетовых лучей короче 3 150 Å в μ W/cm² для различных источников света дана в таблице

Таблица 1

| Источник света | Освещенность в фотосвечах | $\mu W/cm^2$ | | $\mu W/cm^2$ | |
|--|---------------------------|--------------|----------|----------------|----------|
| | | абсол. | относит. | на 1 фотосвечу | |
| | | | | абсол. | относит. |
| Мощность ультрафиолетовых лучей короче 3 150 Å | | | | | |
| a | 6 600 | 56 | 70 | 0,0085 | 0,53 |
| b | 1 900 | 117 | 146 | 0,0620 | 0,85 |
| c | 8 500 | 173 | 216 | 0,0205 | 1,28 |
| d | 50 | 0,8 | 1 | 0,0160 | 1,00 |
| Мощность ультрафиолетовых лучей короче 3 150 Å, оцениваемая по эритемальному эффекту | | | | | |
| a | 6 600 | 7,5 | 214 | 0,00114 | 1,63 |
| b | 1 900 | 15,6 | 450 | 0,00820 | 11,7 |
| c | 8 500 | 23,1 | 660 | 0,00272 | 3,88 |
| d | 50 | 0,035 | 1 | 0,00070 | 1,00 |

Условные обозначения

a — прямой солнечный свет
 b — свет чистого небосвода
 c — сумма a + b
 d — прямой свет от белой (3 500°K) флюоресцентной лампы

В полдень во время летнего солнцестояния, под 40° сев. широты

Из данных таблицы видно, что эритемально-эффективная энергия в естественных условиях в сотни раз больше, чем для флюоресцентных ламп белого света. Лампы дневного света (6 500°K) имеют излучение короче 3 150 Å приблизительно в 2,3 раза больше, чем белые флюоресцентные лампы. Анализируя более подробно данные измерений, можно прийти к выводу, что нет оснований опасаться вредного действия ультрафиолетовых лучей от флюоресцентных ламп при применяемых уровнях освещенности. Уместно указать, что на производстве флюоресцентных ламп, где рабочие в течение всего дня подвергаются действию прямого излучения ламп при уровне освещенности порядка фотосвечей, не было зарегистрировано вредного эффекта ультрафиолетовой радиации.

Также не может быть опасений в отношении биологического эффекта инфракрасных лучей в условиях искусственного освещения.

Кандидат техн. наук Р. Г. ИЗВЕКОВ



ОТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА МЭИ

Инженеров, окончивших Московский Ордена Ленина энергетический институт им. Молотова и желающих поддерживать связь по научно-техническим вопросам с научно-техническим обществом при МЭИ, Правление НТО просит сообщить (Москва, Красноказарменная, 14, клуб ученых МЭИ, НТО): фамилию, имя и отчество, адрес, год окончания МЭИ, место работы.

Председатель общества засл. деятель науки и техники, проф. Л. И. СИРОТИНСКИЙ

Ученый секретарь, кандидат техн. наук В. А. ВЕНИКОВ

ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция журнала „Электричество“ обращается с просьбой к организациям и лицам, у которых сохранились отдельные комплекты или разрозненные номера журнала „Электричество“ за прошлые годы (начиная с 1880), сообщить о возможности приобретения этих комплектов или номеров журнала для пополнения редакционной библиотеки по адресу: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648, редакции журнала „Электричество“.



ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Свойства и применение политена *British Plastics, m. 17, 1945. Часть I. E. Huhter W. G. Oakes, март, стр. 94—98; часть II: R. V. Richards, апрель, стр. 146—151; часть III: E. L. Midwinter май, стр. 208—215, 228.*

Серия статей, подробно рассматривающих получивший за последнее время широкое применение в электро-технике, а также и в других областях техники материал политен (polythene) или полиэтилен — вещество, получающееся в результате полимеризации простейшего ненасыщенного газообразного углеводорода этилена C_2H_4 . В Англии выпускается в промышленном масштабе семь марок политена с молекулярным весом от 13 000 до 25 000, с температурой размягчения соответственно от 107 до 190°С и с прочностью на разрыв от 90 до 220 kg/cm^2 . Материал весьма эластичен и по механическим свойствам приближается к каучуку; эластичность сохраняется при весьма низких температурах, так что материал должен быть признан весьма морозостойким. Плотность политена: при 170°С—0,77, при минус 100°С—0,96 kg/dm^3 . Весьма высокие электроизолирующие свойства политена; так, $tg \delta$ в зависимости от частоты и температуры изменяется в пределах от 0,0001 до 0,0005. Поэтому, в частности, политен с успехом используется как электроизоляционный материал для наиболее высоких частот, например в радиолакационных установках. При нормальной температуре политен исключительно устойчив в химическом отношении, но при повышенных температурах подвергается воздействию сильных кислот, окисляющих реагентов и галогенов. На воздухе при температуре 160°С подвергается окислительному старению; поэтому в случаях работы при высоких температурах рекомендуется добавление к политену антиокислителей. Политен имеет исключительно малую гигроскопичность; он совершенно нерастворим в воде, в эстерах и кетонах; растворяется в углеводородах и в хлорированных углеводородах. Проницаемость пленки политена для водяных паров при 20°С составляет всего лишь $2 \cdot 10^{-9}$ $g/h \cdot cm \cdot mm \cdot Hg$. Приводятся подобные представляющие значительный интерес, сведения по технологии обработки политена посредством компрессионного и инъекционного прессования, выдавливания, литья, сварки и пр. В тонких пленках и нитях (искусственный шелк из политена) наблюдается ориентация молекул, что приводит к повышению механической прочности. Политен применяется для кабельной изоляции, для ящиков аккумуляторных батарей, для вводов, для покрытия бумаги и тканей и т. п.

Кандидат техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ



ОБ ОФОРМЛЕНИИ МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ АВТОРАМИ В ЖУРНАЛ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

1. Материал, предназначенный для опубликования в журнале, должен представляться отпечатанным на машинке через два интервала (первый экземпляр) с одной стороны листа стандартного размера, с полями с левой стороны шириной в 3—5 см. Текст должен быть отчетливым, без помарок и вставок. В отдельных случаях, по согласованию с редакцией, материал может представляться в форме безупречно четкой рукописи.

Иллюстрационный материал вместе с перечнем, содержащим все пояснения к рисункам, должен быть приложен отдельно. Каждый рисунок должен быть пронумерован (пример: Рис. 1 и т. д.) и иметь соответствующую пояснительную подпись.

2. Средний размер статьи может составлять 0,5—1 авт. листа (10—20 стр. текста на машинке); в необходимых случаях размер статьи может быть увеличен. Автореферат (краткое содержание научно-исследовательской работы) не должен, как правило, превышать 5—6 стр. на машинке.

3. К статье должна прилагаться аннотация (краткое изложение основных положений и выводов статьи) размером до 500 печатных знаков.

4. Статьи и авторефераты, сообщающие о результатах работ, проведенных авторами по заданию организаций, представляются вместе с письменным разрешением этих организаций на опубликование.

5. Представляемый автором оригинал должен быть тщательно проверен (особое внимание следует обратить на формулы и чертежи) и подписан, с указанием автором даты, своего полного почтового адреса и места работы.

6. Разделы (главы) статей и авторефератов должны выделяться особыми подзаголовками; соподчинение внутренних подразделов должно быть четко показано; в необходимых случаях желательно выделять некоторые места текста курсивом или разрядкой. Обобщающие работу выводы помещаются в конце статьи.

7. Вспомогательные математические выкладки и промежуточные преобразования формул, а также примеры расчетов выносятся обязательно в специальные приложения.

8. Обозначения единиц измерения должны соответствовать союзным стандартам (Электричество, № 1—2, 1945).

9. Формулы помещаются в отдельной строке, а не в строке текста. Формулы и обозначения показателей степени и индексов должны быть вписаны от руки чернилами ясно и отчетливо. Особенно ясно должны различаться сходные по начертанию заглавные и строчные буквы (*C* и *c*, *K* и *k*, *O* и *o*, *S* и *s*, *U* и *u*, *V* и *v* и т. д.) и буквы, трудно отличимые в рукописном изображении: *e* и *l*, *I* и *J*, *g* и *q*, *n* и *и*, *V* и *U* и др., а также *x* (греческая) и *x*, *a* и *α* (греческая).

Прописные (заглавные) буквы рекомендуется подчеркивать карандашом двумя черточками снизу (например, O), а строчные — сверху. 0 (ноль) не подчеркивать. Греческие буквы заключать в кружок карандашом.

10. Над символами комплексных величин следует ставить точки (например \hat{I}) над сопряженными комплексами \wedge (например \hat{I}), над векторами черту (\vec{N}).

11. При перечислении предпочтительно пользоваться цифрами и во вторую очередь буквами (русского алфавита).

12. Таблицы должны снабжаться заголовками и порядковыми номерами.

13. Сноски нумеруются (звездочек не применять) в порядке их последовательности в тексте.

14. Сокращения слов не допускаются, за исключением общепринятых известных сокращений: а) учреждений (ВЭИ, МЭИ и т. д.), б) терминов (гэс, к. п. д., э. д. с.).

15. Чертежи и графики вычерчиваются черной тушью на белой бумаге стандартного размера или на кальке. Графики могут быть выполнены на миллиметровой бумаге. Графики, предназначенные для расчетов, должны представляться на кальке. Для всех графиков совершенно обязательно нанесение сетки и значения делений. Обозначения величин должны быть указаны над осью абсцисс и с правой стороны оси ординат, а единицы измерения — под осью абсцисс и с левой стороны оси ординат. Стрелки по концам осей не ставить.

16. При заимствовании рисунков из опубликованных работ надлежит указывать литературный источник.

17. Цитируемые или рекомендуемые литературные источники должны быть приведены в конце статьи в виде библиографического указателя (Литература). Ссылки на источник в тексте сопровождаются взятыми в квадратные скобки буквой Л и порядковым номером источника в библиографическом указателе статьи, например: [Л. 3], [Л. 5]; ссылку на несколько источников указывать следующим образом: [Л. 1—4].

18. Библиографический указатель (Литература) должен составляться по следующей форме: а) для журналов — автор, название статьи, название журнала, номер, год; б) для книг — автор, название книги, издательство, год. После фамилии автора, а также после названия статьи ставится точка; остальные библиографические данные разделяются запятыми. Название книг, статей и журналов в кавычки заключать не следует.

19. В ссылках на журнальные статьи слово «журнал» не пишется, страницы указываются только в случае необходимости. При обозначении года слово «год» опускается.

20. С другими особенностями оформления представляемых материалов можно ознакомиться при просмотре номеров журнала «Электричество» за 1946 г.

ГОСЭНЕРГГОИЗДАТ

ОТКРЫТА ПОДПИСКА

НА 1947 ГОД

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

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

**Основан в 1880 году Русским техническим обществом
12 номеров в год по 12 печ. листов**

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников в широкой области исследования и применения электричества и освещает основные теоретические и практические проблемы, связанные с развитием всех отраслей электротехники и электрификации СССР

В журнале принимают участие:

Доктор техн. наук, проф. К. А. Андрианов, доктор техн. наук, проф. Б. П. Апаров, член-корр. АН СССР В. К. Аркадьев, доктор техн. наук, проф. Р. Л. Аронов, доктор техн. наук, проф. Г. И. Атабеков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Бабат, доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд, член-корр. АН СССР А. И. Берг, доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин, член-корр. АН СССР И. С. Брук, доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич, академик С. И. Вавилов, академик Б. А. Введенский, член-корр. АН СССР В. И. Вейц, академик А. В. Винтер, член-корр. АН СССР В. П. Вологдин, доктор техн. наук, проф. А. А. Воробьев, член-корр. АН СССР Б. М. Вул, доктор техн. наук, проф. А. А. Вульф, доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов, доктор техн. наук, проф. А. А. Горев, кандидат техн. наук П. Н. Горшков, проф. П. Г. Грудинский, доктор техн. наук, проф. Л. И. Гутенмахер, проф. Д. В. Ефремов, доктор техн. наук, проф. П. С. Жданов, доктор техн. наук, проф. А. М. Залесский, доктор техн. наук, проф. А. Г. Иосифьян, академик А. Ф. Иоффе, доктор техн. наук, проф. И. Л. Каганов, инж. Е. Я. Казовский, доктор техн. наук, проф. П. Л. Калантаров, доктор техн. наук, проф. М. Д. Каменский, инж. Я. А. Климовицкий, кандидат техн. наук Е. Г. Комар, член-корр. АН СССР В. И. Коваленков, член-корр. АН СССР М. П. Костенко, член-корр. АН СССР Т. П. Кравец, академик Г. М. Кржижановский, инж. Ю. С. Кронгауз, член-корр. АН СССР К. А. Круг, академик В. С. Кулебакин, действительный член АН УССР С. А. Лебедев, доктор техн. наук, проф. С. О. Майзель, доктор техн. наук, проф. Э. А. Меерович, академик В. Ф. Миткевич, доктор техн. наук, проф. М. М. Михайлов, доктор техн. наук, проф. Д. П. Морозов, доктор техн. наук, проф. Л. Р. Нейман, академик В. П. Никитин, доктор техн. наук, проф. Е. В. Нитусов, академик Н. Д. Папалекси, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров, доктор техн. наук, проф. Л. М. Пиотровский, доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов, доктор техн. наук, проф. В. К. Попов, доктор техн. наук, проф. С. А. Ринкевич, доктор техн. наук, проф. В. Е. Розенфельд, доктор техн. наук, проф. Л. И. Сирогинский, доктор техн. наук, проф. И. С. Стекольников, кандидат техн. наук И. А. Сыромятников, инж. А. И. Товстопалов, доктор техн. наук, проф. В. А. Толвинский, доктор физ.-мат. наук, проф. В. А. Фабрикант, член-корр. АН СССР Я. И. Френкель, доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет, член-корр. АН СССР М. А. Шателен, доктор техн. наук, проф. Е. Г. Шрамков, доктор техн. наук, проф. Г. И. Штурман, доктор техн. наук, проф. Н. Н. Щедрин и др.

Подписная цена на год 96 руб.

Подписка принимается в отделениях „Союзпечати“ и на почте