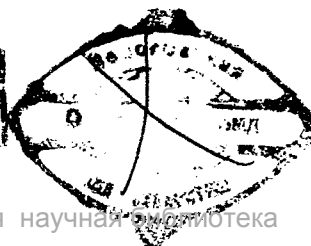
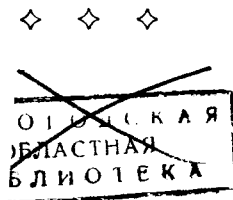
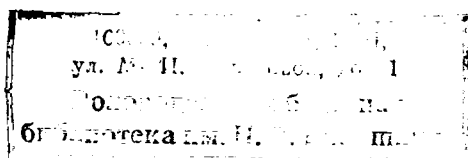


СОДЕРЖАНИЕ

<i>Занять первое место в мировой науке!</i>	3
В. С. Малов — Вопросы развития телеизмерительных систем дальнего действия	7
Н. Н. Щедрин — Упрощение расчетов коротких замыканий продольно-компенсированных линий электропередачи	11
А. И. Гершенгорн, А. Н. Шеренцис, Н. А. Мельников — Транспозиция длинных линий электропередачи	16
И. А. Сыромятников — Нагрев массивных роторов при асинхронном пуске	22
Н. П. Куницкий — Получение оптимальной кривой тока двигателя при ослаблении потока	26
М. И. Алябьев — Обобщенные векторы, реактивности и потокосцепления синхронной машины	31
И. И. Трещев — К вопросу об общей теории электрического вала	38
Ю. Е. Ефроймович — Расчет электрического режима дуговых сталеплавильных печей с учетом выпрямляющего действия дуги	42
А. Е. Каплянский — Методы конструирования сегнетоэлектрической аппаратуры	44
О. Г. Кацнельсон, А. С. Эдельштейн — Прецизионный соленоидный стабилизатор электрического тока	48
В. А. Голубцова, К. А. Андрианов — Нефтяные масла и полимерные углеводороды как диэлектрики	51
ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ	
Г. М. Сехниашвили — Опыт эксплуатации передвижных тяговых подстанций	57
ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	
Я. А. Шнейберг — Об установлении академиком В. В. Петровым закономерности в электрической цепи	60
В. М. Жестяников — К вопросу об истории изучения электрических свойств углерода	61
К. К. Баумгарт — Выдающийся профессор физики О. Д. Хвольсон	62
СТАНДАРТЫ И НОРМЫ	
В. М. Лавров — Терминология теоретической электротехники	65
ПО СТРАНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ	
Защита подземных сооружений от действия блуждающих токов. Ближайшие задачи развития сварочной техники на великих стройках. Аллюминиевые провода в самолетостроении. Подземные кабелепроводы. К расчету механических усилий в трансформаторах (обзор)	79
Заочная конференция читателей журнала „Электричество“	84
ХРОНИКА	
На собрании, посвященном изобретению телеграфа	91
На Физическом факультете Московского государственного университета им. Ломоносова	92
БИБЛИОГРАФИЯ	
Ю. М. Галонен — Книги по электрооборудованию троллейбусов: И. С. Ефремова „Троллейбусы“, часть II. Электрическое оборудование. С. А. Реброва — „Электрооборудование троллейбусов типа МТБ“ — „Устройство и эксплуатация троллейбусов“ и В. Л. Марковникова и Д. И. Перкиса — „Учебное пособие для водителей троллейбуса“	92
Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике	96



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Доктор техн. наук, проф. **Г. Н. Петров** (редактор), академик **А. И. Берг**, доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич**, доктор техн. наук, проф. **А. А. Глазун**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, доктор техн. наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**

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

Занять первое место в мировой науке!

Коммунистическая партия, товарищ Сталин проявляют постоянную заботу о процветании передовой советской науки. Поставленная товарищем Сталиным в феврале 1946 г. перед советскими учеными задача: догнать и превзойти в ближайшее время достижения науки за пределами нашей страны — вызвала единодушный отклик со стороны всех ученых Советского Союза. Работа научно-исследовательских организаций достигла небывалого размаха и в ряде отраслей знания советская наука заняла первое место в мировой науке.

Товарищ Маленков в отчетном докладе XIX съезду о работе Центрального Комитета партии отметил: «В послевоенный период наши ученые успешно решили много научных проблем большого народнохозяйственного значения... О крупных успехах советской науки и техники свидетельствует ежегодное присуждение Сталинских премий за выдающиеся научные труды, изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы».

Говоря о задачах партии в области внутренней политики, товарищ Маленков указал на необходимость: «Развивать дальше передовую советскую науку с задачей занять первое место в мировой науке. Направлять усилия ученых на более быстрое решение научных проблем использования громадных природных ресурсов нашей страны. Укреплять творческое содружество науки с производством, имея в виду, что это содружество обогащает науку опытом практики, а практическим работникам помогает быстрее решать стоящие перед ними задачи».

Директивы XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану предусматривают расширение за пятилетие подготовки научных и научно-педагогических кадров через аспирантуру высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов примерно в два раза по сравнению с предыдущей пятилеткой. Большие капитальные вложения планируются в строительство научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений. В текущей пятилетке должна быть улучшена работа научно-исследовательских институтов и научная работа высших учебных заведений. Предусматривается более полное использование научных сил для решения важнейших вопросов развития народного хозяйства и обобщения передового опыта, а также широкое практическое применение научных открытий. Всемерное содействие будет оказано ученым в разработке ими теоретических проблем во всех областях знания.

Партия призывает советских ученых смелее обогащать науку и технику новыми исследованиями, открытиями и изобретениями и тем самым активно участвовать в борьбе за победу коммунизма. Партия сосредоточивает усилия ученых на решении жизненно важных проблем, на первоочередных задачах, выдвигаемых практикой коммунистического строительства. Содействовать выполнению и перевыполнению народнохозяйственных планов, двигать вперед дело технического прогресса, усиливать обороноспособность нашей Родины и тем способствовать сохранению мира во всем мире — таковы почетные задачи советских ученых.

В своем докладе на XIX съезде товарищ Маленков подчеркнул важное значение науки для успешного социалистического строительства, осуществляемого в СССР: «В борьбе за дальнейший технический прогресс большая роль принадлежит нашей науке, которая своими открытиями помогает советскому народу полнее раскрывать и лучше использовать богатства и силы природы».

Советская наука — это наука созидания. Социалистическая система хозяйства дает неограниченный простор применению новейшей техники и претворению в жизни всех научных достижений, помогающих трудящимся Советского Союза осуществить их заветную цель — построить коммунизм.

Президент Академии наук СССР академик А. Н. Несмеянов, касаясь ответственной, вдохновляющей задачи, поставленной перед советской наукой — занять первое место в мировой науке, — говорит: «Можно назвать многие области науки, где советские исследователи превзошли достижения ученых капиталистических стран и занимают первое место в мировой науке. Но как ни важны отдельные выдающиеся достижения, не только они определяют общее состояние научного фронта».

Советская наука и техника, указывает А. Н. Несмеянов, располагают всем необходимым, чтобы от прочно занятых ими отдельных вершин и передовых участков перейти в настоящее время к созданию сплошного высокого фронта науки. Мы можем утверждать, что для нас нет ныне неразрешимых технических задач любого масштаба, которые были бы доступны технике капиталистических стран. В то же время капитализму не под силу решение ряда технических задач, успешно разрешаемых в нашей стране.

В Советском Союзе наука сделалась достоянием широких масс трудящихся. По сравнению

с дореволюционным временем число научных работников Академии наук СССР увеличилось почти в 60 раз, а бюджет Академии наук СССР увеличился почти в 700 раз. Академия наук СССР с ее филиалами превратилась в крупнейший в мире научный центр.

Сплошной высокий фронт советской науки будет создан в итоге дальнейшего развития областей науки, уже в настоящий момент достигших передовой линии, и подтягивания участков, положение которых еще не вполне удовлетворяет требованиям современности и нуждам великого народнохозяйственного строительства, осуществляемого в нашей стране.

Великие сталинские стройки коммунизма поставили перед советскими учеными и электротехниками целый ряд серьезнейших проблем. Решение многих из них представляет выдающийся успех отечественной науки и обеспечивает перевод на новый, более высокий технический уровень целых областей народного хозяйства. Примером могут быть гидрогенераторы для крупнейших волжских гЭС. Разработка конструкции и технологии производства таких мощных гидрогенераторов составила весьма сложную задачу. По геометрическим размерам, весам и давлению на пять машин для великих строек коммунизма далеко опережают заграничную технику и являются дальнейшим значительным шагом вперед по сравнению с ранее построенными у нас гидрогенераторами для верхневолжских гЭС. Следует в связи с этим отметить, что мощные и тяжелые гидрогенераторы на гидроэлектростанциях США: Гранд-Кули, Гувер-дам и Бонневильской — по уровню своей техники представляют для электромашиностроения СССР пройденный еще в довоенное время этап.

Выполнение мощных тихоходных гидрогенераторов по сравнению с быстроходными зарубежными машинами той же мощности связано с проведением многих ответственных научно-исследовательских работ, с испытанием новой системы подпятников, новой усиленной системы вентиляции, различных систем возбуждения, с разработкой новых аппаратов автоматики и приборов защиты, управления и регулирования, с экспериментированием на электродинамических моделях для выяснения вопросов устойчивости в условиях сверхдальних линий электропередачи при различных режимах, с изысканиями в области новых электротехнических материалов и т. д.

Работы по оказанию содействия великим стройкам коммунизма проходят красной линией в деятельности наших ученых. В тематике академических и отраслевых научно-исследовательских институтов проблемы, связанные с гидроэнергетическим строительством, занимают большое место. Вместе с тем недавно Президиумом Академии наук СССР был отмечен ряд серьезных недостатков в ходе выполнения заданий для волжских гЭС.

Вклад работников науки в великие стройки коммунизма может и должен быть полноценным и крупным. Внимание и усилия работников науки

следует сосредоточить, в основном, на решении важнейших научно-технических вопросов, связанных с великими стройками.

Значительные перспективы технического прогресса открывает дальнейшее развитие электроники. Уже первые результаты новых научных исследований, выполненных в СССР в этой области, говорят о больших возможностях применения их для создания усовершенствованных систем автоматики и телемеханики. Новые пути технического прогресса намечаются также в связи с успешным применением полупроводящих материалов в установках электрического тока повышенной и высокой частоты. Задача разработки новых магнитных материалов с возможно более низкой электропроводностью связана с бурным развитием высокочастотной электротехники. Уже известны материалы, магнитная проницаемость и удельное электрическое сопротивление которых имеют весьма большие значения. Задачи в области изучения свойств и разработки ферромагнитных и антиферромагнитных полупроводников и диэлектриков имеют первостепенное значение для ряда отраслей современной электротехники.

Тесное содружество работников науки и производства открывает перед научно-исследовательскими организациями огромные возможности для наилучшего разрешения самых сложных задач. В процессе творческого содружества науки с производством происходит непрерывное обогащение научной теории опытом практики, и в результате научные работники часто находят искомые решения в значительно сокращенные сроки. Опыт, накопленный работниками производства, в сочетании с теорией как нельзя лучше подсказывает наиболее выгодные решения. С другой стороны, активное и близкое участие научных работников совместно с производственниками в изучении и разрешении проблем, зарождающихся на производстве, поднимает последнее на более высокий технический уровень и реально обеспечивает технический прогресс в этой области.

Борьба за технический прогресс, писали ленинградцы в письме товарищу Сталину, — это путь смелого новаторства и высокого мастерства, творческих революционных дерзаний работников промышленности и науки, путь внедрения в производство новейших достижений передовой научной мысли. Творческое содружество с тех пор принесло значительные результаты и породило новые формы взаимосвязи научных и производственных организаций. Творческая инициатива, сметка, изобретательность нашего народа дают богатейшие плоды как на производстве, так и в научно-исследовательской области. Всемерно развивать творческую инициативу научных работников, шире развешивать в научной работе экспериментирование в сочетании с творческим содружеством науки и производства, всеми силами поддерживать положительные примеры работы и прогрессивные начинания новаторов, всемерно распространять передовой опыт — это одно из могучих средств для завоевания первого места и на фронте науки.

Большое внимание должно быть уделено планированию научно-исследовательских работ. Президент Академии наук акад. А. Н. Несмеянов в своем выступлении в феврале прошлого года предостерегал академические институты от поверхностного подхода при составлении тематических планов к задаче согласования планов с министерствами и ведомствами. Связь академических и отраслевых институтов все еще недостаточно налажена; совместная работа по проведению в жизнь идей и достижений наших ученых нередко случайна и не всегда свободна в полной мере от вредных, не свойственных нашему обществу элементов скрытой конкуренции. Борьба с самотеком в области тематики, с планированием «по исполнителям», с многотемностью, с дробностью тематики, с параллелизмом тематики смежных секторов и т. д. дала в истекшем году свои первые результаты. Однако в этом направлении еще многое недоделано и вопросы организации планирования и координации научных работ должны и в настоящее время находиться в поле зрения для более глубокого упорядочения.

Сказанное в равной мере относится и к научно-исследовательской работе, проводимой в высших технических учебных заведениях. Ряд неизжитых еще недостатков имеется также в планировании тематики, очередности, координации и организации работ в отраслевых научно-исследовательских институтах и в том числе в институтах Министерства электропромышленности и Министерства электростанций.

Перед советскими учеными, идущими во главе технического прогресса, стоит важная и неотложная задача: резко поднять качество выполняемых ими работ, добиться такого положения, чтобы предлагаемые ими в результате научных исследований методы, расчеты, модели были не только безукоризненно правильными и точными, но и наилучшими из всех возможных. Для этого техника исследования, техника эксперимента должна быть не только безупречной, но и до такой степени совершенной, чтобы возможность влияния на результат случайных факторов была исключена, а допускаемые погрешности не имели какой бы то ни было практической значимости.

Это возможно лишь при условии творческого отношения научных работников к применяемым ими методам и средствам экспериментирования, лишь при условии использования ими всех современных достижений науки и техники для усовершенствования, пересмотра и обновления техники эксперимента. Здесь наши ученые и исследователи должны проявлять смелую творческую инициативу, не бояться трудностей, связанных с риском, проявлять находчивость и упорство в поисках. Новые методы проведения опыта, новая техника, при этом применяемая, дают возможность более глубокого проникновения в природу исследуемого явления, расширяют наши познания о физической сущности изучаемых процессов.

Мощным и благодарным средством научного эксперимента является моделирование и, в частности, электродинамическое моделирование. Оно позволяет заранее выявлять на точных моделях

основные свойства будущего сооружения, агрегата, машины и наблюдать поведение их в искусственно созданных опытных условиях эксплуатации задолго до реального возникновения аналогичных условий в жизни.

Предлагаемые советскими учеными решения научно-технических проблем должны быть оптимальными; разрабатываемые советскими инженерами конструкции должны быть отличными и непревзойденными — таков должен быть критерий деятельности нашей научно-технической интеллигенции. Стремление к высокому качеству результатов должно быть девизом каждого научного работника — патриота советской науки, патриота советской техники, патриота Советской страны.

Вопросы качества играют теперь главную роль. Наряду с этим следует максимально ускорять завершение научно-исследовательских работ, от которых зависит дальнейшее перевооружение народного хозяйства с применением самых последних достижений передовой науки и техники. Научные работники обязаны активно содействовать быстрейшей разработке технологии, связанной с внедрением упомянутых работ в производство.

Большое значение приобретает в деле подготовки и переподготовки средних, старших и высших технических кадров обновление учебных программ с целью доведения квалификации старых и новых технических кадров до уровня современной техники; технические кадры промышленности должны систематически повышать свои знания, своевременно знакомиться с сущностью новейших научных открытий и со свойствами и особенностями новых технологических процессов и материалов.

Следует усилить эффективность и тематическую направленность практических работ аспирантов, а также работ студентов, особенно выпускников.

Необходимо обеспечить высокое качество подготовки молодых научных кадров для обеспечения более быстрого продвижения талантливой молодежи к вершинам науки и выдвижения ее на руководящие роли.

Важный вопрос дальнейшего развития науки — это вопрос о чувстве нового. Успехи советской науки огромны, но на достигнутом нельзя останавливаться ни на один день. Техническое творчество должно быть стимулировано запросами ближайшего будущего. Техника завтрашнего дня должна уже сегодня находиться в аспекте передовых советских ученых. Творческие идеи, искания, расчеты, эксперименты должны уже сегодня предвосхищать события и соответствовать наступающим задачам с целью дальнейшего расцвета народного хозяйства страны.

Разработке перспективных теоретических проблем должно быть уделено больше внимания. Следует учесть, что развитие теоретической науки продолжает отставать в сравнении с быстро увеличивающейся потребностью в ней. Нормальный путь развития науки проходит от жизни к научному обобщению, к теории и от теории опять к

практике. При этом неправильно проявлять деляческий подход к науке на первом из названных этапов и не видеть различия между квазинаукой — бесплодной схоластикой, оторванной от жизни, и подлинной, жизненно необходимой, широко обобщающей теоретической наукой, связанной с практикой и своими истоками, и своими результатами.

В научно-исследовательских организациях, в лабораториях передовых советских ученых идет важная для народного хозяйства страны работа,двигающая нашу науку, наше производство вперед; промежуточные формы этой ответственной и полезной работы носят иногда внешне отвлеченный характер и при поверхностном отношении к такой теоретической работе незаметно, что в действительности работа эта идет от жизни, от здоровых запросов практики. Наука поставляет плоды не только для немедленного освоения, но и впрок. Теоретическая научная работа не является работой второго сорта; в теоретической научной работе, идущей от жизни, содержатся зерна, от которых взойдут богатые всходы. Разработкой теоретических проблем нельзя пренебрегать. XIX съезд партии в директивах по пятому пятилетнему плану постановил: «Всемерно содействовать ученым в разработке ими теоретических проблем во всех областях знания и укреплять связь науки с производством».

Пятым пятилетним планом советской науке предьявлена обширная программа работ. В ходе реализации этого плана перед наукой неизбежно встанут новые вопросы, которые заранее трудно предусмотреть во всем объеме. Советские ученые должны хорошо подготовиться к их решению. Разработке теоретических проблем науки должно быть отведено заслуженное место. Не всегда решение таких проблем находит прямой выход в практику, но, опережая практику, оно дает верное дальнейшее направление.

Труды советских ученых должны отличаться научно обоснованным предвидением. Ученые нашей страны должны работать со значительным опережением во времени. Технический прогресс немыслим без учета непрестанно изменяющихся условий жизни.

Советская наука развивается на основе марксистско-ленинской теории. Классические труды товарища Сталина «Марксизм и вопросы языкознания» и «Экономические проблемы социализма в СССР» обогатили новыми положениями марксистско-ленинскую науку, открыли новые перспективы для прогресса всех отраслей знания. Все планы партии на будущее, определяющие перспективы и пути нашего движения вперед, опираются на знание экономических законов, опира-

ются на науку о строительстве коммунистического общества, разработанную товарищем Сталиным.

Товарищ Сталин учит, что никакая наука не может развиваться без борьбы мнений, без свободы критики. В результате вмешательства Центрального Комитета партии во многих областях науки были вскрыты чуждые советским людям нравы и традиции, выявлены факты кастовой замкнутости и нетерпимого отношения к критике, разгромлен аракчеевский режим, существовавший на многих участках научного фронта.

Преодоление недостатков в постановке научной работы далеко не закончено. Внимание к задаче развертывания смелой, принципиальной критики и самокритики, как показало недавно проведенное собрание научных работников города Москвы, должно быть усилено; с администрированием в науке, с зажимом критики необходимо вести самую беспощадную борьбу.

Наука не может успешно развиваться в затхлой атмосфере взаимного восхваления и замалчивания ошибок. Работники, не способствующие развертыванию критики и самокритики, являются тормозом нашего движения вперед, они не созрели для того, чтобы быть руководителями, и не могут рассчитывать на доверие партии.

Систематически работать над повышением собственной научной квалификации, быть всегда в курсе последних достижений науки и техники, постоянно следить за данными опыта, за производственной жизнью — профессиональный долг и первейшая обязанность каждого научного работника независимо от занимаемого им положения и независимо от стажа его деятельности. Ибо заслугой любого научного работника является не столько стаж работы, сколько уровень научной квалификации и результаты его творчества.

Развертывая критику и борьбу мнений в научной работе, советская наука поднимется на более высокий уровень и сможет по праву занять первое место в мировой науке.

Ученые, электротехники и энергетики вместе со всем народом нашей страны видят, как под руководством партии и великого Сталина воплощается в жизнь бессмертная формула В. И. Ленина: «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны». Своим трудом и своими знаниями они активно участвуют в великих работах по строительству коммунизма в нашей стране. Ленинско-Сталинский план электрификации нашей Родины стал явью.

Вооруженная мудрым сталинским учением о строительстве коммунизма, историческими решениями XIX съезда партии советская наука выполнит поставленную перед ней задачу.



Вопросы развития телеизмерительных систем дальнего действия

Кандидат техн. наук В. С. МАЛОВ

ЦНИЭЛ МЭС

Энергетика является областью наиболее широкого использования телеизмерительной аппаратуры дальнего действия.

Подавляющее большинство эксплуатируемых в энергетике телеизмерительных систем дальнего действия основано на частотном принципе телеизмерения.

По установившейся терминологии к телеизмерительным системам дальнего действия относят устройства для передачи показаний на расстояние, в которых эквивалентом измеряемой величины служит характеристика импульсной посылки или частота переменного тока.

По характеру этой вспомогательной величины — эквивалента измеряемого параметра — телеизмерительные системы дальнего действия подразделяются на следующие основные виды:

1) *число-импульсные системы* — значение измеряемой величины выражается посылкой по каналу связи определенного числа импульсов;

2) *время-импульсные системы* — в зависимости от измеряемой величины изменяется продолжительность импульсов, периодически посылаемых в канал связи;

3) *частотные системы* — мерой измеряемой величины служит частота периодических изменений тока в канале связи. Последний вид получил развитие в двух существенно различающихся направлениях:

а) в виде *частотно-импульсных систем*,

б) *частотных систем переменного тока* или собственно частотных систем.

Дальнейшим развитием число-импульсных систем являются *кодо-импульсные системы*. В этих системах цифровое значение измеряемой величины зашифровывается кодом импульсов, причем для образования кода и его расшифровки используются методы, применяемые в технике телесигнализации.

Применение для телеизмерения указанных вспомогательных величин сводит к минимуму погрешности, обусловленные непостоянством характеристик канала связи. Это позволяет использовать для передачи телеизмерений частотные каналы связи по проводам и радиоканалы, не обладающие постоянством затухания.

При осуществлении телеизмерения в ряде отраслей народного хозяйства приходится в значительной степени ориентироваться на применение систем дальнего действия, так как свойства

XIX съезд партии в директивах по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 гг. предложил приступить в текущем пятилетии к внедрению телемеханизации в энергетических системах. В статье рассматриваются основные характеристики телеизмерительных систем дальнего действия и направления работ по усовершенствованию таких систем.

располагаемых каналов связи и расстояния передачи исключают использование более простых и экономичных систем ближнего действия. К числу таких отраслей можно, например, отнести энергетические объединения, газопроводы большой протяженности, авиацию, метеослужбу (автоматические метеостанции) и др.

Основные характеристики телеизмерительных систем дальнего действия. Совершенство телеизмерительной системы определяют два основных показателя: точность и надежность действия.

Точность телеизмерения. Стремление к повышению точности — безусловная тенденция измерительной техники. Вместе с тем при производстве электроизмерительных приборов технические измерения обычно ограничиваются более низкой степенью точности, чем при выполнении лабораторных приборов и вторичных эталонов. Такое положение совершенно естественно: прибор высокого класса точности, как правило, менее устойчив к перегрузкам, механическим сотрясениям; шкала его не приспособлена к отсчету на расстоянии. Наконец, стоимость изготовления прибора высокого класса точности сравнительно велика.

Телеизмерительная система представляет собой значительно более сложное устройство, чем локальный измерительный прибор, и, следовательно, содержит больше источников погрешностей.

Обеспечение точности телеизмерения на уровне точности технического электроизмерительного прибора уже связано поэтому со значительными трудностями. Вместе с тем в большей части случаев ничем нельзя аргументировать повышение точности при замере и передаче значения величины на расстояние по сравнению с точностью указания той же величины в пункте замера.

Исходя из этого, представляется целесообразным при выполнении телеизмерительных устройств массового применения ориентироваться на точность щитовых электроизмерительных приборов (класс 2,5...1,5).

В то же время имеются отдельные объекты измерения, требующие более высокой точности телеизмерения. Например, высокая точность необходима при телеизмерении уровня в водохранилищах, если максимальное часовое изменение

отметки составляет малую долю полного диапазона изменения уровня.

Таким образом, следует особо выделить группу телеизмерительных устройств повышенной точности. Можно предположить, что точность этой группы телеизмерительных устройств должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к электроизмерительным приборам класса 1.

Современные телеизмерительные устройства дальнего действия могут быть отнесены к группе устройств массового применения. Значительное снижение погрешностей телеизмерения вряд ли возможно без изменения принципов выполнения телеизмерительных систем.

Одним из существенных препятствий к повышению точности телеизмерительных систем является использование первичного измерительного прибора (счетчика электроэнергии, ваттметра, вольтметра, амперметра и т. п.). Такой прибор, как правило, имеет класс точности 2,5 (редко 1,5) и, следовательно, даже при предельно возможном снижении погрешности телепередачи повышенная точность телеизмерения не может быть обеспечена. Точно так же использование в приемном устройстве стрелочного измерительного прибора класса 1,0...2,5 ограничивает возможности повышения точности телеизмерения.

Надежность действия. Надежность телеизмерительной системы характеризуется бесперебойным действием в течение определенного, установленного срока без вмешательства обслуживающего персонала.

Требование высокой надежности оказывается особенно существенным при монтаже телеизмерительной аппаратуры на необслуживаемых установках (например, на автотелеуправляемых гидроэлектростанциях или трансформаторных подстанциях). В таких условиях нарушение нормального действия телеизмерительного устройства лишает пункт управления контроля за режимом работы установки. Еще более высокие требования в отношении надежности предъявляются к телеизмерительным устройствам, используемым для целей быстродействующего авторегулирования или для приведения в действие защитно-блокирующих автоматических устройств.

Надежность действия в значительной степени определяется свойствами аппаратуры, используемой в телеизмерительном устройстве.

В устройствах, выполненных на электро-механической аппаратуре, наблюдается систематический износ подвижных частей и контактов, ограничивающий срок бесперебойной работы, а также имеет место нарушение первоначальной регулировки, приводящее к повышению сверх нормы погрешностей телеизмерения.

Широкое внедрение электро-ионных приборов освобождает телеизмерительные устройства от значительной части недостатков электро-механической аппаратуры. Однако электронно-ионные приборы обладают сравнительно коротким сроком службы. До сих пор нет установившегося мнения о необходимых сроках периодической профилактической замены электронных ламп: реальный срок службы ламп, как пра-

вило, превышает гарантируемые промышленностью 1 000 час, но в значительной степени зависит от режима работы лампы. Нередко электронные лампы выходят поэтому из строя до наступления установленного срока замены.

Наряду со свойствами собственно телеизмерительной аппаратуры надежность действия телеизмерительных систем определяется качеством используемых каналов связи. Как показывают статистические данные по энергосистемам МЭС, около одной трети суммарного времени неисправности телеизмерительных систем вызывается повреждениями каналов связи. Вопрос о характеристиках каналов связи, предоставляемых для передачи телеизмерений, имеет самостоятельное значение. Тем не менее следует подчеркнуть особую важность повышения надежности каналов связи.

Кроме двух основных качественных показателей телеизмерительной системы — точности и надежности — в ряде случаев существенную роль играет также *скорость действия*.

Скорость действия телеизмерительной системы характеризуется временем установления показаний, т. е. промежутком времени, протекающим от момента скачкообразного изменения измеряемой величины до момента успокоения приемного прибора. Для телеизмерительных систем с циклической передачей показаний скорость действия определяется главным образом длительностью цикла замера.

В тех случаях, когда приемное устройство телеизмерительной системы используется для непосредственного воздействия выходной электрической величины на реагирующий орган автоматического регулятора (теле-регулирование), при определении скорости действия отмечается момент установления электрической величины на выходе приемного устройства (например, тока).

Минимальные требования к скорости действия предъявляются при телеизмерении медленно меняющихся неэлектрических величин (температура, давление пара или жидкости, уровень жидкости и т. п.), несколько большие — при телеизмерении электрических величин (тока, напряжения, мощности, частоты).

В первом случае допустимо запаздывание в передаче изменения контролируемой величины до 15 сек и более; во втором случае стремятся не выходить за пределы 4...5 сек.

Совершенно иное положение имеет место при использовании телеизмерительной системы для целей быстродействующего автоматического регулирования. При этом скорость действия определяется условиями устойчивости и качества процесса регулирования. Возникает необходимость сращения времени запаздывания при передаче скачкообразных изменений до порядка десятых долей секунды. Подобные задачи ставятся, в частности, при осуществлении телерегулирования в энергетических объединениях при значительной мощности дальних передач.

Следует указать, что в существующих телеизмерительных системах дальнего действия снижению инерционности телепередачи препятствует

использование в передающем устройстве первичного электроизмерительного прибора: время успокоения такого прибора обычно составляет 3... 4 сек. Таким образом, и с этой точки зрения целесообразно при телеизмерении электрических величин отказаться от применения первичного прибора нормальной конструкции.

Краткое рассмотрение свойств телеизмерительных систем дальнего действия показывает, что переход в этой области на новую качественную ступень — выполнение телеизмерительных систем повышенной точности и надежности, повышение быстродействия — требует применения новых методов построения телеизмерительных устройств, изыскания новых направлений развития телеизмерительной техники. Наряду с этим ставится задача унификации телеизмерительной аппаратуры с учетом требований промышленного производства.

Некоторые из возможных направлений комплексного разрешения этого круга вопросов освещаются ниже.

Направления усовершенствования телеизмерительных систем дальнего действия. Структура телеизмерительных устройств. Условия промышленного производства требуют сокращения числа разнотипных приборов и аппаратов, используемых в телеизмерительных устройствах. Вместе с тем выполнение телеизмерительного устройства с универсальными свойствами, в равной степени пригодного для телеизмерения различных электрических и неэлектрических величин, не только затруднительно, но и лишено целесообразности.

Значительно эффективнее комплектовать телеизмерительное устройство из минимального числа типовых блоков, сочетаемых в различных комбинациях в зависимости от вида измеряемой величины, характера и назначения измерения.

Задача легко разрешима, если разбить передающее устройство на два основных блока:

а) преобразователь измеряемой величины в унифицированную электрическую величину;

б) передатчик телеизмерения, управляемый этой величиной. Очевидно, что преобразователи измеряемой величины должны быть индивидуализированы применительно к характеру контролируемой величины.

В качестве унифицированной промежуточной величины целесообразно выбрать ток или напряжение. Это, как будет показано далее, позволит весьма просто выполнять суммирование показаний на передающей стороне (по принципу сложения токов или напряжений) и воспроизведение суммарных показаний в пункте замера, осуществить телеизмерение по вызову. Вместе с тем типовые преобразующие блоки могут быть использованы в качестве основных блоков телеизмерительных устройств ближнего действия токовых систем.

Приемные устройства могут быть во всех случаях однотипны. Выходным параметром приемника также служит ток или напряжение.

На рис. 1 представлены блок-схемы самых различных телеизмерительных устройств, ком-

плектуемых из типовых блоков, построенных по описанному выше принципу. Как нетрудно видеть, число основных типовых блоков невелико.

Блок-схема *а* относится к телеизмерительной системе тока (ближнего действия).

На блок-схеме *б* показано суммирование на передающей стороне по принципу сложения токов или напряжений преобразователей.

Блок-схема *в* изображает телеизмерительную систему дальнего действия. Здесь показано 3 возможных варианта использования приемного устройства: включение стрелочного (указывающего) прибора, самопишущего прибора и реагирующего органа автоматического регулятора (при телерегулировании).

Способ осуществления телеизмерения «по вызову» иллюстрирует блок-схема *г* (для подключения преобразователей и приборов вызванного измерения используется устройство телеуправления).

Блок-схема *д* показывает осуществление суммирования показаний на приемной стороне, а блок-схема *е* — дальнейшую телепередачу результата суммирования на приемной стороне.

Применение статических преобразователей. Как это указывалось выше, желательно все преобразования измеряемых величин выполнять без участия промежуточного звена — первичного элек-

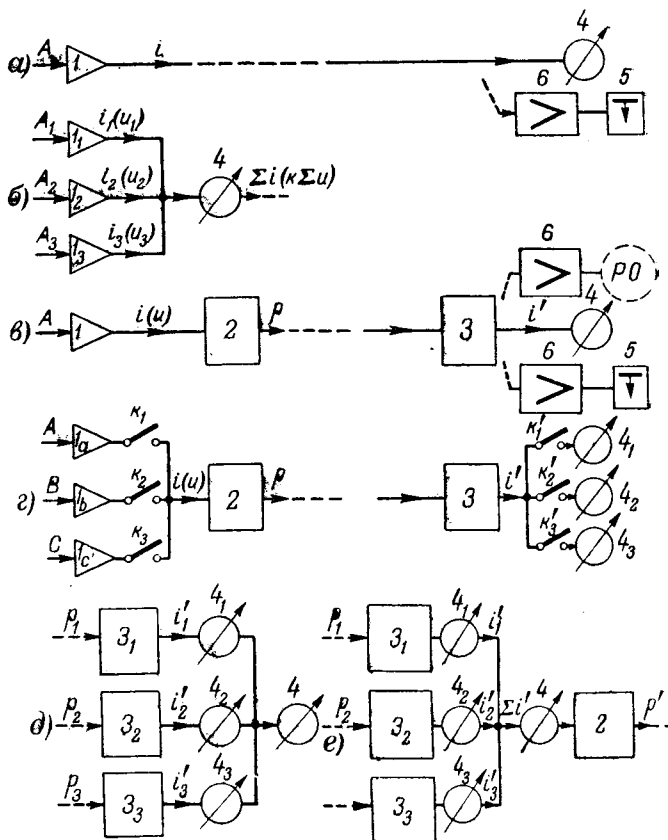


Рис. 1. Блок-схемы телеизмерительных устройств, комплектуемых из типовых блоков.

1 — преобразователь измеряемой величины в постоянный ток; 2 — передатчик телеизмерения; 3 — приемник телеизмерения; 4 — указывающий прибор; 5 — самопишущий прибор; 6 — усилитель; PO — реагирующий орган авторегулятора.

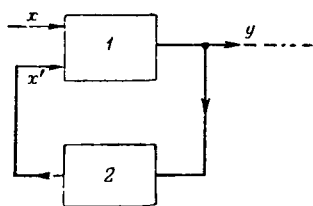


Рис. 2. Блок-схема звена балансного преобразования.

1 — элемент прямого преобразования; 2 — элемент обратного преобразования.

троизмерительного прибора. При использовании в качестве унифицированной величины тока или напряжения известные затруднения возникают с теплизмерением мощности переменного тока.

Методы преобразования мощности в постоянное напряжение или ток статическим путем с помощью нелинейных элементов разработаны сравнительно давно. Предлагались различные схемы преобразования с использованием термоэлементов (термопреобразователи), купроксных выпрямителей, электронных ламп, магниточувствительных сопротивлений и т. п. Однако в большинстве случаев применению таких преобразователей препятствовала низкая стабильность характеристик нелинейных элементов. Практическое распространение получили только термопреобразователи, но вследствие малой мощности выхода последние обычно используются в сочетании с автопотенциометром, что усложняет и удорожает устройство. Вместе с тем инерционность термопреобразователей сравнительно велика: время установления э. д. с. выхода в лучшем случае составляет около 1 сек. Новые работы в области нелинейных элементов электрических цепей дают основания надеяться, что актуальнейшая задача теплизмерительной техники — выполнение совершенных преобразователей мощности — будет решена в ближайшее время.

Балансные преобразования. Существенное повышение точности может быть получено путем выполнения преобразований в передающем и приемном устройствах по балансному принципу.

Сущность такого преобразования заключается в том, что в схему преобразующего звена вводится функциональная отрицательная обратная связь, стабилизирующая преобразование.

Блок-схема балансного преобразующего звена представлена на рис. 2. Звено осуществляет преобразование величины x в величину y .

Элемент прямого преобразования 1 находится под действием разности входной величины x и уравновешивающей x' , являющейся функцией выходной величины y . Преобразование выходной величины y в величину x' осуществляет элемент обратного преобразования 2.

Полагая в первом приближении оба преобразования линейными, можно выразить зависимость между величинами в схеме следующим образом:

$$y = y_0 + \alpha(x - x') \quad \text{и} \quad x' = \beta(y - y_0),$$

где α и β — коэффициенты прямого и обратного преобразования.

Общее уравнение преобразования будет:

$$y = y_0 + \frac{\alpha}{1 + \alpha\beta} x.$$

Между относительным изменением коэффициента прямого преобразования $\Delta\alpha\%$ и вызванной этим погрешностью преобразования $\Delta y_\alpha\%$ устанавливается связь

$$\frac{\Delta y_\alpha\%}{\Delta\alpha\%} = \frac{x - x'}{x}.$$

Анализ этого выражения показывает, что применение балансного преобразования существенно снижает погрешность от нестабильности прямого преобразования при малой остаточной разности величин $x - x'$, действующих на вход элемента 1.

Однако выигрыш в точности обеспечивается лишь при условии стабильности обратного преобразования. Действительно, относительное изменение коэффициента обратного преобразования $\Delta\beta\%$ и обусловленная этим погрешность преобразования $\Delta y_\beta\%$ связаны соотношением

$$\frac{\Delta y_\beta\%}{\Delta\beta\%} = - \frac{x'}{x}.$$

Заметим, что отношение $\frac{x'}{x}$ на основании предыдущего должно быть близко к единице.

Балансные преобразования, применяемые ранее главным образом в теплизмерительных системах ближнего действия, начинают получать распространение и в системах дальнего действия, в частности в передающих и приемных устройствах частотной системы. Имеются основания полагать, что это направление получит дальнейшее развитие.

Вопросы аппаратуры. С точки зрения качественных показателей теплизмерительных устройств внедрение электронно-ионной аппаратуры дало, несомненно, положительный эффект. Однако, как уже указывалось выше, недостаточный срок службы электронных ламп, а тем более ионных приборов, заставляет рассмотреть возможность частичной, а в отдельных случаях и полной замены электронно-ионных приборов в особо ответственных теплизмерительных устройствах. Современное состояние электротехники дает возможность осуществить ряд функций, обычно разрешаемых электронно-ионной аппаратурой, с помощью более надежной аппаратуры с большим сроком службы.

Так, например, элементы магнитной техники могут быть использованы для решения таких задач, как усиление тока и мощности, релейное действие, стабилизация напряжения, генерация автоколебаний, модуляция и т. д. Некоторые из этих задач могут быть решены также с помощью термо-чувствительных сопротивлений.

Приходится, конечно, учитывать и ряд существенных недостатков такой аппаратуры, в первую очередь повышенную инерционность и большее потребление мощности для управления по сравнению с электронной аппаратурой. Тем не менее открываются широкие перспективы использования новых видов аппаратуры в телеизмерительных устройствах.

Изложенное выше, естественно, не исчерпывает всех возможных направлений усовершенствования телеизмерительных устройств. Здесь рассмотрен лишь определенный комплекс актуальных вопросов, составляющий основное содержание многочисленных работ в области телеизмерений.

[25. 8. 1952]



Упрощение расчетов коротких замыканий продольно-компенсированных линий электропередачи

Доктор техн. наук, проф. Н. Н. ЩЕДРИН
Среднеазиатский политехнический институт

Осуществляемые в нашей стране гигантские строительства ведут к созданию новых мощных энергетических узлов, откуда значительные количества энергии предстоит передавать в весьма удаленные пункты потребления. Ближайшее технически возможное решение этой задачи мыслится на основе использования трехфазного тока с применением компенсации индуктивности линии последовательным включением статических конденсаторов.

Можно предположить, что применение трехфазных продольно-компенсированных линий в дальнейшем расширится и что они при известных условиях найдут применение и тогда, когда техническая база передачи энергии постоянным током будет окончательно установлена.

Проектирование и настройка релейной защиты, выбор аппаратуры, определение параметров и уровня защиты конденсаторов компенсированных систем передачи требуют, как и обычно, производства большого количества расчетов токов короткого замыкания.

Между тем вследствие физических особенностей процессов короткого замыкания таких систем не имеется непосредственных оснований распространять на них обычные простые методы расчетов. Вопрос этот требовал особого исследования, которое и было выполнено нами.

Математически точное определение токов и напряжений при коротком замыкании продольно-компенсированных линий на основе соответствующих дифференциальных или операторных уравнений даже в простейшем случае сосредоточенных параметров является весьма трудоемким (характеристические уравнения не ниже 5-й степени). Этот путь не может рассчитывать на массовое применение в проектных и эксплуатационных расчетах, равно как и использование интеграторов и электромашинных моделей. Поэтому разра-

Обосновывается возможность применения обычных методов расчета токов короткого замыкания к продольно-компенсированным системам. Отмечается осложнение, связанное с определением свободных токов статорных цепей.

ботка упрощенных методов расчета, хотя бы и менее точных, но не связанных каждый раз с решением дифференциаль-

ных уравнений, а потому — более простых и удобных, имеет несомненный практический интерес. Для освещения этого вопроса остановимся кратко на главнейших особенностях процесса однократного короткого замыкания, оставив в стороне дальнейшие его осложнения, связанные с АПВ, каскадным действием релейной защиты и неодновременностью срабатывания защитных разрядников конденсаторов.

В обычных электрических системах с линиями умеренной протяженности приходится, как известно, иметь дело при коротких замыканиях со свободными процессами двух родов: 1) с апериодическими токами, обусловленными инерцией магнитных потоков цепей статоров электрических машин; 2) с периодическими или, точнее, квазипериодическими токами, обусловленными главным образом инерцией потоков, связанных с роторами машин.

В случае длинных статически (продольно) компенсированных линий характер свободных статорных колебаний существенно меняется и зависит от степени компенсации. Аперриодической составляющей уже нет; она заменяется свободными квазипериодическими колебаниями, которые даже при глухом трехфазном коротком замыкании образуют несимметричную систему токов собственных частот цепи короткого замыкания, разлагающуюся на системы токов прямой и обратной последовательностей. Степень асимметрии (α_s), определяемая отношением амплитуд свободных колебаний обратной и прямой последовательностей частоты ν , приближенно выражается формулой:

$$\alpha_s = \frac{\omega - \nu}{\omega + \nu}, \quad (1)$$

где ω — нормальная частота системы.

Взаимодействуя с одноосной обмоткой ротора синхронного генератора, свободные колебания прямой и обратной последовательностей порождают при трехфазном коротком замыкании дополнительные колебания соответственно частот $(2\omega - \nu)$ и $(2\omega + \nu)$, а при несимметричном коротком замыкании — бесконечные серии частот вида $(2n\omega \pm \nu)$. Явнополюсность ротора и наличие успокоительных обмоток на нем с резко различными параметрами ведут к дальнейшему усложнению явлений свободных колебаний в статорной цепи.

В свою очередь, инерция потоков, сцепляющихся с обмоткой возбуждения и другими роторными контурами, приводит к появлению здесь апериодических или близких к апериодическим свободных токов так же, как и при отсутствии продольной компенсации. В цепи статора им соответствуют псевдовынужденные, квазипериодические токи частоты вращения ротора или близкой к ней.

Разделение токов статора на две указанные категории — свободных, обусловленных взаимодействием статорных потоков с компенсирующей емкостью, и псевдовынужденных, обусловленных инерцией потоков роторных контуров, становится невозможным в режиме самовозбуждения или параметрического резонанса системы, наблюдающегося только при значительных степенях компенсации, когда реактивное сопротивление x_c компенсирующей емкости при отсутствии успокоительных контуров лежит между значениями суммарной переходной ($X'_d = x'_d + x_N$) и суммарной синхронной ($X_d = x_d + x_N$) реактивностей, т. е.

$$X'_d \leq x_c \leq X_d.$$

В подобном случае декременты некоторых колебаний прямой последовательности становятся положительными, т. е. эти колебания получают нарастающими, с частотой ω или близкой к ней (асинхронное самовозбуждение), в то время как свободные колебания обратной последовательности затухают при любых значениях x_c . Следовательно, в условиях самовозбуждения поведение продольно-компенсированной системы существенно отличается от поведения системы некомпенсированной.

Однако уже при незначительном отступлении от критического значения $x_c = X'_d$ (для генераторов без успокоительных контуров на роторе) в сторону меньшей степени компенсации составляющие токов статора, которые мы назвали выше псевдовынужденными, становятся по характеру своего поведения вполне подобными периодической составляющей (i_v) тока короткого замыкания чисто индуктивной системы. Их коэффициент затухания весьма точно выражается хорошо известной формулой затухания периодической составляющей для некомпенсированных систем, если в этой формуле емкость

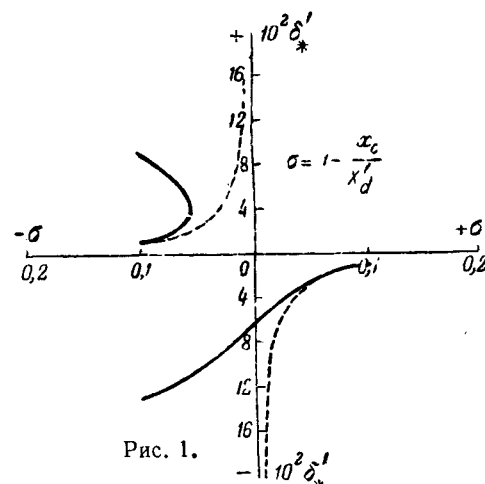


Рис. 1.

представить отрицательным реактивным сопротивлением ($-x_c$):

$$\delta'_* = \frac{1}{\omega T'_d} = \frac{1}{\omega T_{d0}} \cdot \frac{(X_d - x_c)(x_q - x_c) + r^2}{(X'_d - x_c)(x_q - x_c) + r^2}, \quad (2)$$

где

$$X_q = x_q + x_N.$$

В качестве примера на рис. 1 представлены сплошными линиями достаточно точные относительные декременты колебаний (δ'_*) частоты вращения ротора (ω) продольно-компенсированной трехфазной цепи для случая: $X_d = 1,1$; $X'_d = 0,3$; $x_q = 0,6$; $r = 0,01$; $T_{d0} = 7$ сек (декременты асинхронных колебаний не показаны). По оси абсцисс отложена величина дополнения степени компенсации до единицы ($\sigma = 1 - \frac{x_c}{X'_d}$). Коэффициент затухания, определяемый формулой (2), представлен пунктирными кривыми.

Как видно из рис. 1, вблизи критической точки $\sigma = 0$ формула (2) ничего реального не выражает; но уже при $\sigma = 0,04$ или $\frac{x_c}{X'_d} = 0,96$

она вполне пригодна для практических расчетов. Напомним, что применительно к индуктивным некомпенсированным цепям эта формула может быть выведена, минуя анализ дифференциальных уравнений, на основе представления „переходного тока короткого замыкания“ (медленно затухающей периодической составляющей), как тока чисто синусоидального с распространением на него основных положений теории переменных токов [Л.1]. Тот факт, что формула (2), по крайней мере при умеренных степенях компенсации, оказывается вполне пригодной, свидетельствует о допустимости трактовать переходные¹ токи короткого замыкания компенсированных систем так же, как вынужденные периодические, распространяя на них правила теории переменных токов и рассматривая индуктивные и емкостные сопротивления просто как величины противоположных знаков.

¹ „Переходные“ — в специальном смысле, принятом в расчетах токов короткого замыкания.

Следует заметить, что трактовка всякого рода псевдопериодических и квазипериодических токов, например вида $\varepsilon^{-at} I_m \sin \omega t$ или $I_m \sin \nu t \sin \omega t$ ($\nu \ll \omega$), как токов периодических и синусоидальных довольно широко применяется в инженерных расчетах аномальных режимов электрических систем, в большинстве случаев интуитивно, без достаточного обоснования и без определения допускаемых при этом погрешностей. Можно дать соответствующий общий теоретический анализ этого вопроса, но он не является целью данной статьи. Ограничимся замечанием, что погрешности, обусловливаемые распространением на токи (и напряжения) вида $\varepsilon^{-at} I_m \sin \omega t$ обычных правил теории переменных токов, зависят от величины коэффициента затухания α и возрастают при его увеличении.

Например, относительная погрешность в амплитуде напряжения по концам цепи L, C выражается равенством:

$$\Delta u_* \approx \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}, \quad (3)$$

где

$$m = \frac{\alpha}{\omega} \frac{\omega L + \frac{1}{\omega C}}{\omega L - \frac{1}{\omega C}}.$$

Отсюда следует, что и поведение так называемых „сверхпереходных“ токов короткого замыкания [Л.2], связанных с быстро затухающими аperiodическими процессами в успокоительных контурах роторов машин, должно уже более существенно отличаться при сравнении систем некомпенсированных и продольно-компенсированных. Следующий пример подтверждает это, но вместе с тем показывает, что погрешность в декременте затухания, связанная с распространением на сверхпереходный процесс правил теории стационарных переменных токов, не слишком велика и существенна.

В нашем примере линия с относительной индуктивностью 1,8 продольно компенсирована двумя группами конденсаторов, делящих ее на три равные части, с общей степенью компенсации самой линии, равной 0,7, так что емкостное сопротивление одной группы конденсаторов равно $x_c = \frac{0,7 \cdot 1,8}{2} = 0,63$. Линия присоединена к

турбогенератору с параметрами $x'_d = 0,205$, $x''_d = 0,125$ через повысительный трансформатор с индуктивностью $x_T = 0,105$. Рассматривается трехфазное короткое замыкание за первой от повысительного трансформатора группой конденсаторов, соответственно чему для цепи короткого замыкания

$$X'_d = 0,205 + 0,105 + 0,6 = 0,91,$$

$$X''_d = 0,125 + 0,105 + 0,6 = 0,83.$$

Пренебрегая активным сопротивлением обмотки возбуждения ($T_{d0} = \infty$), можно формулу (2) распространить и на сверхпереходный про-

цесс, заменив в ней X_d на X'_d , X'_d на X''_d , X_q на $X'_q = X''_d$ и T_{d0} на T_{D0} , где T_{D0} — постоянная времени успокоительной обмотки при разомкнутой цепи статора. Приняв ее равной 0,055 сек и для простоты $r=0$, получим:

$$\delta''_* = \frac{1}{\omega T_{D0}} \cdot \frac{X'_d - x_c}{X''_d - x_c} = \frac{1}{314 \cdot 0,055} \cdot \frac{0,91 - 0,63}{0,83 - 0,63} = 0,081.$$

Вычисленное значение коэффициента затухания сверхпереходного тока соответствует указанным выше упрощенным физическим представлениям, которые приводят к формуле (2). Значительно более точное значение этого декремента, вычисленное в предположении симметричной успокоительной системы при $T_{d0} = \infty$ на основе операторных уравнений машины с симметричной обмоткой ротора, оказалось равным:

$$\delta''_* = 0,0624.$$

Таким образом, погрешность в декременте составляет около

$$\frac{0,081 - 0,0624}{0,0624} \cdot 100 \approx 30 \%.$$

Эта погрешность не имеет существенного практического значения, поскольку уравнивающий (исчезающий до нуля) сверхпереходный ток составляет относительно небольшую часть периодической составляющей тока короткого замыкания частоты ω .

Из вышеизложенного следует, что для систем с умеренной продольной компенсацией периодические составляющие тока короткого замыкания основной частоты ω можно определять обычными методами: Ульянова-Баскакова (спрямленных характеристик) и кривых затухания — при условии, конечно, что будет учтено отступление параметров генераторов от типовых значений. Последнее особенно просто осуществляется с помощью метода Ульянова-Баскакова в той его форме, в которой используются универсальные функции $\tau_x(t)$ и $\sigma_E(t)$.

Этот вывод распространяется и на несимметричные короткие замыкания. Дифференциальные уравнения последних при наличии продольной компенсации, вообще говоря, могут содержать неустраняемые периодические коэффициенты и тогда не имеют строгих решений в конечном виде, а имеют лишь решения в виде бесконечных рядов или бесконечных дробей (операционная форма бесконечных дробей рассмотрена нами в специальной работе [Л. 3]). Тем не менее и в этом случае известное правило прямой последовательности [Л. 2], приводящее определение тока этой последовательности к расчету эквивалентного трехфазного короткого замыкания, соблюдается с большой точностью, если его дополнить определением серии токов высших частот, порожденных свободными колебаниями в цепи статора и обратносинхронным полем частоты ω . Это правило дает весьма точные результаты даже

в том случае, когда система оказывается в режиме самовозбуждения.

Значение пропорциональной току величины $\xi = x_2 i$ было вычислено для случая двухфазного короткого замыкания явнополюсного генератора, имеющего $x'_d = 0,3$ и $x_q = 0,6$, при последовательно включенной фазовой емкости $x_c = x_2 = \frac{0,3 + 0,6}{2} = 0,45$. Вычисление производилось двумя способами: 1) по указанному правилу прямой последовательности, дополненному определением порожденных токов высших частот, причем токи эквивалентного трехфазного короткого замыкания определялись сначала в координатах d и q на основе операторных уравнений [Л. 4]; 2) путем численного интегрирования соответствующего дифференциального уравнения с периодическим коэффициентом (активные сопротивления статора и ротора приняты равными нулю и генератор перед коротким замыканием принят ненагруженным). Результаты вычислений в условных единицах представлены на рис. 2, где сплошная кривая соответствует первому, а пунктирная — второму из указанных методов вычисления.

Совпадение кривых получилось достаточно близким, причем в них ярко выражено явление самовозбуждения. При умеренной степени компенсации самовозбуждение исключено и, как указано выше, при расчете тока основной частоты для эквивалентного трехфазного короткого замыкания можно избежать решения дифференциальных или операторных уравнений, а использовать, например, метод Ульянова-Баскакова.

Кроме тока свободных колебаний в цепи статора частоты ν и $-\nu$ на этот ток следует, вообще говоря, наложить упомянутые „порожденные“ или „производные“ токи высших частот вида $(2n+1)\omega$ и вида $(2n\omega \pm \nu)$. Первые порождаются колебанием частоты ω в цепи статора (периодической составляющей основной частоты); вторые — свободными колебаниями основной частоты $\pm \nu$; и те и другие являются следствием двух факторов: несимметрии цепи статора и неодинаковости продольной и поперечной реакций ротора. Они становятся практически совершенно несущественными при наличии полной успокоительной обмотки, когда $x'_d = x''_q$. В других случаях их можно определить на основе цепных схем [Л.3] и [Л.5]. В частности, если пренебречь параллельной емкостью

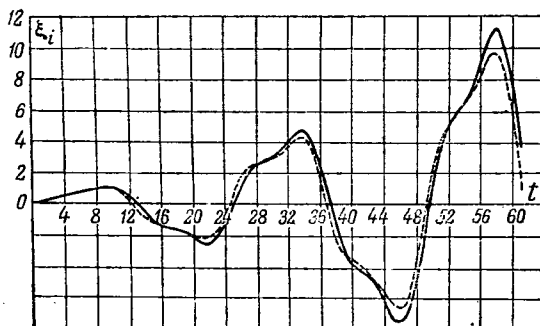


Рис. 2.

линии электропередачи, отношение $k_{\pm n}$ между амплитудами токов частот $2n\omega \pm \nu$ и $(2n-1)\omega \pm \nu$ для простого двухфазного замыкания определяется достаточно точно по формуле

$$k_{\pm n} = \frac{x_{\Delta n}}{X_{2n} + X'_{2n} - 2x_{cn}}, \quad (4)$$

где

$$x_{\Delta n} = (2n\omega \pm \nu) \cdot \frac{X''_q - X''_d}{2\omega};$$

$$X_{2n} = (2n\omega \pm \nu) \cdot \frac{X''_d + X''_q}{2\omega};$$

$$X'_{2n} = \frac{(2n\omega \pm \nu)}{\omega} \cdot \sqrt{X''_d \cdot X''_q};$$

$$x_{cn} = \frac{\omega}{2n\omega \pm \nu} \cdot x_c$$

(в X''_d и X''_q включаются все внешние индуктивности; при отсутствии успокоительных контуров эти величины соответственно заменяются на X'_d и X'_q ; x_c — компенсирующее емкостное сопротивление).

Следует, однако, заметить, что, оставаясь на уровне точности общепринятых расчетов токов короткого замыкания в некомпенсированных системах, можно производными токами высших частот $(2n+1)\omega$ и $(2n\omega \pm \nu)$ пренебречь.

Действительно, анализ структуры цепных схем показывает, что в умеренно компенсированной системе отношения амплитуд высших частот к амплитудам основных „порождающих“ токов (например, амплитуды тока частоты 3ω к амплитуде тока частоты ω или амплитуды тока частоты $2\omega - \nu$ к амплитуде частоты ν) меньше и убывают быстрее, чем аналогичные соотношения в системе некомпенсированной, внешняя реактивность которой x'_N равна внешней результирующей или остаточной реактивности компенсированной системы:

$$x'_N = x_N - x_c.$$

Иными словами говоря, токи высших частот в компенсированной системе выражены слабее, чем в эквивалентной по внешней реактивности некомпенсированной системе. Поясним это примером.

Пусть имеется двухфазное короткое замыкание за конденсаторами (C) в конце линии (Л), присоединенной через трансформатор (Т) к явнополюсному генератору без успокоительных контуров на роторе, с параметрами $x'_d = 0,3$, $x_q = 0,6$, причем фазные параметры внешних элементов равны $x_c = 0,63$; $x_L = 0,6$; $x_T = 0,105$. Наинизшая частота свободных колебаний в данном случае примерно равна 0,738 (в долях частоты вращения ротора $\omega \equiv 1$). Вычислив по формуле (4) отношения амплитуд токов частоты $(2\omega - \nu) = 1,262$ и частоты $(2\omega + \nu) = 2,738$ к амплитуде тока частоты ν , найдем:

$$k_{-1} = 0,0995 \approx 0,1, \quad k_{+1} = 0,0703 \approx 0,07.$$

Их сумма

$$(k_{-1} + k_{+1}) \approx 0,17.$$

Фазная результирующая внешняя реактивность данной компенсированной цепи равна $(0,105 + 0,6 - 0,63) = 0,075$. Возьмем двухфазное короткое замыкание за этой реактивностью, принимая ее за чисто индуктивную, и вычислим отношение амплитуды второй гармоники (2ω) к амплитуде связанной с нею апериодической составляющей. Для этого в формуле (4) следует положить $\nu = 0$ и $x_c = 0$. Тогда получим:

$$k_{2\omega} = 0,292 > (k_{-1} + k_{+1}).$$

Таким образом, если особые обстоятельства не требуют повышения точности расчетов токов компенсированных систем сравнительно с точностью обычных практических расчетов, то нет оснований осложнять расчет определением токов высших частот².

Упрощенный на основе изложенных соображений расчет все же не избавляет нас в полной мере от необходимости прибегать иногда к решениям некоторых дифференциальных или операторных уравнений. Действительно, остается еще вопрос об определении начальных амплитуд, частот (ν), фаз и коэффициентов затухания свободных колебаний в цепи статора, заменяющих, как указано выше, апериодическую составляющую обычных цепей короткого замыкания. Для этой цели представляется допустимой замена каждого генератора простой фазной индуктивностью, равной его реактивности обратной последовательности, деленной на ω . Соответственно этому при трехфазном коротком замыкании должна быть составлена подобная обычной, но операторная схема замещения, а при любом однократном несимметричном коротком замыкании — аналогичная схема с использованием упомянутого выше правила прямой последовательности. Далее придется составлять характеристическое уравнение и искать его корни. Такая процедура может быть достаточно обременительной для практики. Поэтому следует изыскивать пути дальнейшего, допустимого на практике упрощения расчетов в этом пункте. Одним из таких путей является предварительное упрощение схем замещения путем отбрасывания заведомо второстепенных элементов. Но есть и другой, более надежный путь — использование так называемых моделей сетей при наличии в них достаточного числа емкостных, индуктивных и активных элементов. Примером таких моделей может служить модель системы Д. И. Азарьева, П. С. Жданова и А. М. Федосеева.

Если в порядке первого приближения рассматриваемые колебания принять за одночастотные низшей частоты ν , то после определения этой частоты и соответствующего коэффициента

затухания начальные амплитуды и фазные углы свободных колебаний, сколь бы ни была сложна схема цепи короткого замыкания, можно затем легко определить для любой фазы этой цепи, исходя из двух условий для $t=0$:

1) Сумма мгновенного значения периодического («вынужденного») тока частоты ω и мгновенного значения тока свободных колебаний должна равняться мгновенному значению тока предшествующего, например, рабочего режима.

2) Сумма мгновенного значения периодического напряжения частоты ω и мгновенного значения напряжения свободных колебаний на зажимах компенсирующей емкости должна равняться мгновенному значению напряжения предшествующего режима.

При $x_d'' = x_q''$ эта ориентировочная процедура определения амплитуд и фаз свободных колебаний может быть заменена полным решением операторных уравнений при заданных начальных условиях или при нулевых начальных условиях с наложением предшествующего режима. При сделанном допущении (замена генераторов простыми фазными индуктивностями, исключение ротора из рассмотрения) к несимметричным коротким замыканиям возможно применение операторного метода, как это изложено, например, в статье Г. И. Атабекова и Л. Г. Мамиконянца [Л. 6]³.

Таким образом, вычисление токов свободных колебаний в отличие от вычисления апериодических составляющих в некомпенсированных цепях, выполняемого обычно с грубым упрощением схем, может при расчете токов короткого замыкания в продольно-компенсированных системах заметно осложнить расчет, если оно необходимо по существу цели вычисления.

В заключение заметим, что вопрос о необходимости и достижимой при тех или иных условиях точности расчетов токов короткого замыкания требует дальнейшей разработки и обстоятельного исследования.

Литература

1. Н. Н. Щедрин. Токи короткого замыкания высоковольтных систем, ОНТИ, стр. 273...275, 1935.
2. С. А. Ульянов. Короткие замыкания в электрических системах, Госэнергоиздат, стр. 115; 126...138; 191...193; 249, 1949.
3. Н. Н. Щедрин. Бесконечные цепные схемы несимметричных замыканий цепей, питаемых генераторами с одноосной обмоткой ротора. Труды ЛПИ, № 5, 1947.
4. А. А. Горев. Переходные процессы синхронной машины. Госэнергоиздат, 1950.
5. П. С. Жданов. О симметричных составляющих, Электричество, стр. 26...30, № 9, 1945.
6. Г. И. Атабеков и Л. Г. Мамиконянец. Применение комплексных схем замещения для расчета переходных процессов, Электричество, № 4, 1949.

[8. 10. 1952]

² Токи высших частот могут в генераторах усиливаться, а у места короткого замыкания — ослабляться вследствие влияния естественной емкости линий; этот эффект сам по себе мало зависит от продольной компенсации.

³ При допущении полной симметрии магнитной системы и обмоток ротора последние можно ввести в рассмотрение с применением операторной формы метода симметричных составляющих, но при этом некоторые коэффициенты операторных уравнений получатся комплексными.



Транспозиция длинных линий электропередачи

Инж. А. И. ГЕРШЕНГОРН
и инж. А. Н. ШЕРЕНЦИС

Теплоэлектропроект

Кандидат техн. наук Н. А. МЕЛЬНИКОВ

Всесоюзный заочный энергетический институт

Общая характеристика вопроса. Согласно существующим представлениям транспозиция фаз линий электропередачи предназначена для уменьшения несимметрии токов и напряжений в нормальных режимах работы электрической системы и для ограничения мешающих влияний линий электропередачи на низкочастотные каналы связи. До настоящего времени выбор длин циклов транспозиции при проектировании линий электропередачи производился в соответствии с указаниями «Правил ограждения сооружений связи и сигнализации от вредного действия установок сильного тока» [Л. 1], ниже называемых просто «Правилами».

Действующие «Правила» не содержат достаточного обоснования рекомендованных ими длин циклов транспозиции. Согласно «Правилам» длина цикла транспозиции для линий с горизонтальным расположением фаз не должна превышать 24 км, а при треугольном расположении — 48 км. При таких длинах циклов транспозиции различие между параметрами отдельных фаз линий получается настолько незначительным, что вызываемая им несимметрия токов и напряжений ничтожна, поэтому в расчетах электрических систем принимаются средние параметры линий.

Наряду с этим опыт эксплуатации линий электропередачи показал, что транспозиционные опоры являются слабым местом, снижающим надежность работы линий и затрудняющим проведение профилактических испытаний и ремонтов.

Частая транспозиция обычно вызывает усложнение конструкций опор и некоторые удорожание линий электропередачи в связи с увеличением количества гирлянд изоляторов и общего веса опор. Поэтому удлинение циклов транспозиции линий электропередачи является весьма целесообразным, так как приводит к сокращению числа транспозиционных опор.

Принципиальная возможность увеличения длин циклов транспозиции линий электропередачи впервые была показана в работе Н. Н. Милолюбова [Л. 2].

По пятому пятилетнему плану будет осуществлено огромное строительство протяженных линий электропередачи. Одним из важных вопросов удешевления строительства и повышения надежности электропередачи является задача увеличения длин циклов транспозиции линий электропередачи по сравнению с действующими нормами. Устанавливается, что допустимые длины циклов транспозиции линий электропередачи определяются допустимыми величинами несимметрии токов и напряжений в электрической системе и что мешающие влияния линий электропередачи на линии связи практически не зависят от длин циклов транспозиции.

В настоящей статье излагаются результаты проведенной авторами работы по анализу практической возможности значительного увеличения длин циклов транспозиции линий электропередачи.

На основе расчетов¹ очень длинной линии 400 кВ при условии вы-

полнения ее транспозиции по схеме, рекомендованной в «Правилах», установлено, что даже при увеличении длин циклов транспозиции до 200 ... 300 км несимметрия токов и напряжений оказывается незначительной.

Следует, однако, отметить, что при распределенном характере параметров длинных линий, имеющих значительные емкостные токи, дальнейшее увеличение длин циклов транспозиции или выполнение линии без транспозиции может привести к заметной несимметрии токов и напряжений во всей электрической системе. Несимметрия же токов, в свою очередь, может усложнить работу релейной защиты линий электропередачи, а несимметрия напряжений — нарушить нормальную работу электродвигателей в электрической системе. Это обстоятельство ограничивает возможность дальнейшего удлинения циклов транспозиции.

В качестве примера в табл. 1 приведены значения токов обратной I_2 и нулевой I_0 последовательностей в зависимости от числа циклов транспозиции для двух случаев: 1) для линии напряжением 220 кВ и длиной 200 км и 2) для линии напряжением 110 кВ и длиной 100 км. Токи I_2 и I_0 выражены в процентах тока прямой последовательности I_1 .

Поскольку внутри цикла транспозиции несимметрия напряжений получается большей, чем на его концах, на участках линий электропередачи, расположенных между подстанциями, целесообразно применять целое число циклов транспозиции (от одного до трех). Благодаря этому снижается несимметрия напряжений на шинах подстанций.

Вопреки существующим представлениям авторы в результате произведенного анализа при-

¹ В выполнении всех расчетов принимали участие инженеры З. Д. Горяинова, А. Н. Синева и А. М. Стариковская

Таблица 1

Несимметрия	Без транспозиции		С одним циклом транспозиции		С двумя циклами транспозиции	
	1-й случай	2-й случай	1-й случай	2-й случай	1-й случай	2-й случай
Ток обратной последовательности, %	2,5	1,6	0,39	0,08	0,02	0,003
Ток нулевой последовательности, %	0,95	0,6	0,07	0,03	0,003	0,001

шли к выводу, что мешающие влияния на низкочастотные каналы связи практически не зависят от длин циклов транспозиции линий электропередачи. Следовательно, мешающие влияния не препятствуют удлинению циклов транспозиции в указанных выше пределах.

Несимметрия токов и напряжений промышленной частоты в электрической системе. Длинная линия является цепью с распределенными параметрами. Различие между параметрами ее фаз на одном шаге транспозиции не компенсируется полностью на всем цикле, так как на каждом из шагов линия находится в различных условиях. Результирующие параметры фаз линии для цикла в целом получаются различными. Поэтому даже при строгой симметрии систем токов и напряжений у одного конца полного цикла транспозиции эти системы получаются несимметричными у другого его конца. Чем больше длина линии и выше ее номинальное напряжение, т. е. больше погонное значение зарядного тока, тем значительнее разницы в величинах и фазах токов и напряжений вдоль линии, а следовательно, больше «остаточная» несимметрия токов и напряжений в электрической системе.

Следует иметь в виду, что несимметрия токов и напряжений, вызванная различием параметров отдельных фаз длинной линии, является постоянно действующей и лишь несколько изменяется в зависимости от режима работы линии. Поэтому к оценке допустимой несимметрии (эта величина, как известно, еще не нормирована) в данном случае приходится предъявлять более строгие требования, чем при рассмотрении кратковременных режимов, связанных, например, с отключениями отдельных фаз в той же электрической системе.

Если бы токи и напряжения распределялись вдоль линии по линейному закону, то при числе циклов транспозиции, равном двум или трем, можно было бы полностью симметризовать линию. Пронумеруем последовательные участки линии порядковыми числами. Полное симметрирование линии получится в том случае, когда суммы номеров участков с одинаковым расположением проводов будут равны друг другу. При двух циклах транспозиции эти суммы

$$\frac{1+2+3+4+5+6}{3} = 7,$$

а при трех циклах

$$\frac{1+2+3+4+5+6+7+8+9}{3} = 15.$$

Наиболее рациональные схемы транспозиции с точки зрения числа транспозиционных опор на линии даны в «Правилах» и приведены на рис. 1. При этих схемах транспозиции для каждого расположения проводов получается:

в случае двух циклов транспозиции

$$1+6=2+5=3+4=7;$$

в случае трех циклов транспозиции

$$1+5+9=2+6+7=3+4+8=15.$$

В действительности напряжения и токи распределяются вдоль длинной линии не по линейному закону. Поэтому транспозиция не приводит к их полному симметрированию. Для выявления

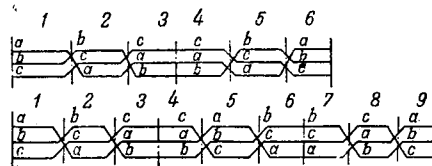


Рис. 1.

фактического режима работы электрической системы остаточную несимметрию приходится определять путем специального расчета. Практически с достаточной степенью точности такой расчет может выполняться приближенно, со значительными упрощениями.

Ниже приведены приближенные формулы², позволяющие определить несимметрию токов по концам линии.

Ток обратной последовательности в начале линии

$$\Delta I_{12} = \frac{1}{\Sigma Z_2} \left(\sum_{m=1}^n I_{m1} Z_{11m} + \sum_{m=0}^n \dot{U}_{m1} Y_{11m} Z_{2m} \right). \quad (1)$$

Ток нулевой последовательности в начале линии

$$\Delta I_{10} = \frac{1}{\Sigma Z_0} \left(\sum_{m=1}^n I_{m1} Z_{12m} + \sum_{m=0}^n \dot{U}_{m1} Y_{12m} Z_{0m} \right). \quad (2)$$

Ток обратной последовательности в начале линии при равных длинах шагов транспозиции

$$\Delta I_{12} = \frac{1}{\pi Z_2} \sum_{m=1}^n I_{m1} z_{11m} + \sum_{m=0}^n \frac{n-m}{n} \dot{U}_{m1} y_{11m}. \quad (3)$$

Ток нулевой последовательности в начале линии при равных длинах шагов транспозиции

$$\Delta I_{10} = \frac{1}{\pi Z_0} \sum_{m=1}^n I_{m1} z_{12m} + \sum_{m=0}^n \frac{n-m}{n} \dot{U}_{m1} y_{12m}. \quad (4)$$

² Эти формулы получены из выражений (1,3) и (1,7), приведенных в приложении к настоящей статье.

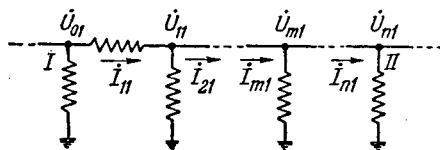


Рис. 2.

Ток обратной последовательности в конце линии

$$\Delta \dot{I}_{112} = \Delta \dot{I}_{12} - \sum_{m=0}^n \dot{U}_{m1} y_{11m}. \quad (5)$$

Ток нулевой последовательности в конце линии

$$\Delta \dot{I}_{110} = \Delta \dot{I}_{10} - \sum_{m=0}^n \dot{U}_{m1} y_{12m}. \quad (6)$$

Здесь приняты следующие обозначения (рис. 2): m —порядковый номер звена цепочечной схемы, состоящей из П-образных схем замещения каждого шага транспозиции линии; n —число шагов транспозиции линии; \dot{I}_{m1} и \dot{U}_{m1} —токи и напряжение прямой последовательности для звена цепочечной схемы за номером m , полученные из расчета симметричного режима при средних параметрах линии; z_{11m} , y_{11m} , z_{12m} и y_{12m} —погонные комплексные значения составляющих прямой и обратной последовательностей сопротивлений и проводимостей фаз звеньев за номером m для систем токов и напряжений прямой последовательности; Z_{11m} , Y_{11m} , Z_{12m} и Y_{12m} —результатирующие комплексные значения составляющих прямой и обратной последовательностей сопротивлений и проводимостей фаз звеньев цепочечной схемы для систем токов и напряжений прямой последовательности; ΣZ_2 и ΣZ_0 —эквивалентные средние сопротивления для токов обратной и нулевой последовательностей всей цепи, включая линию без поперечных проводимостей.

Составляющие обратной и нулевой последовательностей напряжений на концах линии подсчитываются как падения напряжения от токов тех же последовательностей на соответствующих сопротивлениях.

Для подсчета сопротивлений и проводимостей фаз несимметричных участков линии можно воспользоваться указаниями, имеющимися в [Л. 3].

Для линий напряжением до 220 кВ вторые члены выражений (1), (2), (3) и (4) для токов несимметрии в начале линии получают значительно меньше первых. При пользовании приведенными формулами для определения несимметрии линий напряжением выше 220 кВ значения последней получают несколько преуменьшенными.

При наличии 6, 9 и более участков с пофазно различными параметрами продольных и поперечных звеньев подробный расчет несимметрии токов и напряжений в электрической системе получается весьма громоздким. В табл. 2 приведены значения несимметрии токов и напряже-

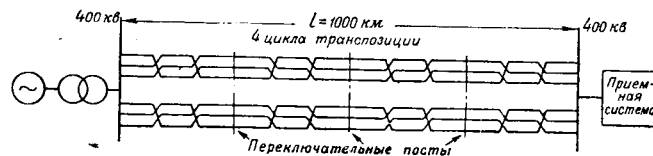


Рис. 3.

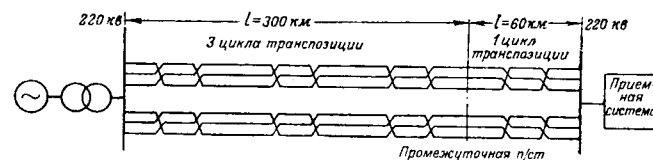


Рис. 4.

ний, полученные этим путем для двух электрических систем, схемы которых изображены на рис. 3 и 4.

Таблица 2

Схема	Передающий конец линии		Приемный конец линии	
	$\frac{I_2}{I_1} 100\%$	$\frac{I_0}{I_1} 100\%$	$\frac{U_2}{U_1} 100\%$	$\frac{U_0}{U_1} 100\%$
Рис. 3	0,04	0,02	0,01	0,005
Рис. 4	0,03	0,03	0,001	0,002

Полученные значения несимметрии весьма малы. В действительности всегда имеются условия для появления в электрической системе такой же или большей несимметрии независимо от длин циклов транспозиции. К этим условиям относятся: неравенство шагов транспозиции (в пределах одного цикла) из-за неточной расстановки опор на местности, различие профиля местности и проводимости земли вдоль трассы линии, различие емкостей отдельных фаз шин и аппаратуры подстанций, различие коэффициентов трансформации отдельных фаз трансформаторов и т. д. Оценка возможной результирующей несимметрии требует учета всех перечисленных условий, что может быть приближенно сделано описанным в приложении путем.

Мешающее влияние линий электропередачи на низкочастотные каналы связи. Мешающее влияние создается гармониками токов и напряжений, возникающими вследствие нелинейности отдельных звеньев электрической системы и несинусоидальности э. д. с. генераторов.

В случае трехфазных транспонированных линий в «Правилах» рекомендуется считаться только с электростатическим мешающим влиянием. Однако при встречающихся на практике расстояниях между линиями электропередачи и связи электростатическое влияние ничтожно, так как эти расстояния во много раз превышают расстояния от проводов до земли. Электрическое поле линии электропередачи в месте расположения линии связи оказывается исчезающе малым.

Составляющие нулевой последовательности гармоник напряжения также не могут оказать

большого влияния вследствие того, что они весьма малы в условиях нормальной работы линии, при полнофазном режиме. Кроме того, линии обычно пересекают друг друга под углами, близкими к прямому, поэтому сближение между ними получается на сравнительно малых длинах. Но все же составляющие нулевой последовательности гармоник напряжения могут повлиять на результат. Однако это влияние ни в какой мере не зависит от длин циклов транспозиции линий электропередачи.

Электромагнитное мешающее влияние, обусловленное гармониками тока, может оказаться не только соизмеримым с электростатическим, но значительно превысить его. В «Правилах» же никаких указаний на мешающее действие различных гармоник тока не приведено.

В общем случае системы гармоник токов несимметричны и могут быть разложены на симметричные составляющие. Влияние отдельных симметричных составляющих различно.

Токи прямой и обратной последовательностей непосредственно в земле не протекают, а соответствующие вихревые токи электромагнитной индукции в земле незначительны. Следовательно, создаваемое этими токами результирующее магнитное поле при удалении от линии электропередачи резко ослабляется и вблизи проводов линии связи практически отсутствует. При протекании этих токов по линии электропередачи заметной э. д. с. шума в линии связи не наводится. Сказанное иллюстрируется примером (рис. 5).

Погонное значение взаимной индуктивности между трехфазной линией электропередачи при симметричной системе протекающих по ней токов (прямой или обратной последовательности) и двухпроводной линией связи определяется следующей формулой:

$$M = 2 \cdot 10^{-4} \sqrt{\left[\ln \frac{d_{aB}}{d_{aA}} - \frac{1}{2} \left(\ln \frac{d_{bB}}{d_{bA}} + \ln \frac{d_{cB}}{d_{cA}} \right) \right]^2 + \frac{3}{4} \left(\ln \frac{d_{bB}}{d_{bA}} - \ln \frac{d_{cB}}{d_{cA}} \right)^2},$$

где d_{aA} , d_{bA} и d_{cA} — расстояния между проводами линии электропередачи и проводом A линии связи;

d_{aB} , d_{bB} и d_{cB} — расстояния между проводами линии электропередачи и проводом B линии связи.

Практически при среднем расстоянии между линиями, измеряемом сотнями метров,

$$d_{aB} = d_{aA}; d_{bB} = d_{bA} \text{ и } d_{cB} = d_{cA}.$$

Следовательно, взаимная индуктивность M и наведенная э. д. с. обращаются в нуль [Л. 4].

Таким образом, электромагнитное мешающее влияние должно определяться только составляющими нулевой последовательности гармоник токов, так как значительная часть их замыкается

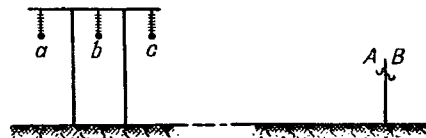


Рис. 5.

через землю. Эквивалентные глубины протекания токов нулевой последовательности в земле соизмеримы с расстояниями между линиями электропередачи и связи.

Токи, протекающие в земле приблизительно вдоль трассы какой-либо линии электропередачи, могут отличаться по величине от утроенных значений токов нулевой последовательности тех же частот, протекающих в проводах линии, если последняя входит в контур замкнутой сети. При наличии на линии заземленных тросов часть токов нулевой последовательности ответвляется.

Непосредственно от длин циклов транспозиции линии электропередачи зависят лишь токи нулевой последовательности основной частоты, мешающее влияние которых на линии связи практически ничтожно.

Таким образом, оказывается, что мешающее влияние линий электропередачи на линии связи практически не зависит от длин циклов транспозиции, допустимых с точки зрения появления несимметрии токов и напряжений в электрической системе.

Выводы. 1. Выбор длины цикла транспозиции при проектировании линии электропередачи определяется условиями допускаемой несимметрии токов и напряжений в электрической системе.

2. Для линий 110...220 кВ в зависимости от конкретных условий (схема сети, длина участка линии между подстанциями и т. д.) рекомендуется выбирать 1...2 цикла транспозиции на каждом участке между соседними подстанциями, что соответствует длинам циклов транспозиции до 200 км.

Для линий 400 кВ по условиям несимметрии в электрической системе допустимо увеличение длин циклов транспозиции до 200...300 км.

Рекомендуемые схемы транспозиции показаны на рис. 1.

Для получения на промежуточных подстанциях возможно более симметричных систем напряжений целесообразно длины циклов транспозиции линий электропередачи согласовывать с длинами участков линий между подстанциями.

3. Рекомендуется при выборе длин циклов транспозиции длинных линий производить проверку получаемой несимметрии токов и напряжений.

4. Величина длительно допустимой несимметрии токов и напряжений в электрических системах должна быть нормирована.

5. Мешающее электромагнитное влияние линий электропередачи на низкочастотные каналы связи практически не зависит от длин циклов транспозиции, допустимых с точки зрения величин несимметрии токов и напряжений в электрической системе. Как известно, опасные электро-

магнитные влияния и взаимодействия между высокочастотными каналами линий электропередачи и связи не зависят от длин циклов транспозиции. Произведенные расчеты показали, что мешающие электростатические влияния обычно незначительны. Следовательно, при выборе длин циклов транспозиции с влияниями линий электропередачи на линии связи можно не считаться.

6. Для правильного учета мешающих влияний линий электропередачи на линии связи необходимо установить возможные величины амплитуд влияющих гармоник тока в электрических системах, а также уточнить метод расчета э. д. с. шума, поскольку в «Правилах» не учитываются соображения, приведенные в настоящей статье.

Приложение. Рекомендательный упрощенный метод расчета состоит из двух частей. Сначала рассчитывается приближенный симметричный режим. Для этого составляется полная схема со средними параметрами Z_1 и Y_1 для токов и напряжений прямой последовательности, причем каждый участок линии (длиной не более 100 км) представляется в П-образном виде. Затем по упрощенной схеме определяются величины несимметрии, вызванной различием между параметрами отдельных фаз.

На рис. 6 показана многофазная цепочка, состоящая из отдельных (нетранспонированных) участков длиной линии электропередачи (нижняя часть схемы) и остальной части электрической системы, представленной в приведенном виде (верхняя часть схемы). Каждый из участков линии представлен в П-образном виде (рис. 7). Параметры каждого из продольных и поперечных звеньев схемы замещения линии в общем случае пофазно различны для токов напряжений всех последовательностей. Для участков с различным пространственным расположением проводов одноименные параметры также различны.

Симметричный режим работы линии может быть получен из рассмотрения полной схемы (рис. 6 и 7), если действие всех дополнительных (по сравнению со средними) параметров компенсировать с помощью соответствующих систем э. д. с. \dot{E} и токовых нагрузок \dot{I} (рис. 8).

Токи прямой последовательности \dot{I}_1 , протекая по соответствующей системе сопротивлений продольного звена полной схемы, должны вызывать падения напряжений всех трех последовательностей:

$$\Delta \dot{U} = \dot{I}_1 \| Z_{1a} \ a^2 Z_{1b} \ a Z_{1c} \| S = \| \Delta \dot{U}_1 \ \Delta \dot{U}_2 \ \Delta \dot{U}_0 \|,$$

где Z_{1a} , Z_{1b} и Z_{1c} — сопротивления соответственно фаз a , b и c для токов прямой последовательности;

$$S = \frac{1}{3} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a & a^2 & 1 \\ a^2 & a & 1 \end{vmatrix}.$$

Симметричные системы напряжений на концах участков схемы

$$\dot{U} = \| \dot{U}_1 \ 0 \ 0 \|$$

могут получаться, если

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \| 0 \ \Delta \dot{U}_2 \ \Delta \dot{U}_0 \| = \\ &= \dot{I}_1 \| Z_{1a} - Z_1 \ a^2 (Z_{1b} - Z_1) \ a (Z_{1c} - Z_1) \| S. \end{aligned}$$

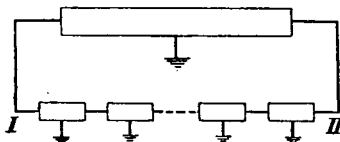


Рис. 6.

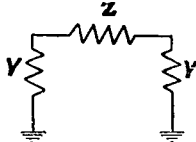


Рис. 7.

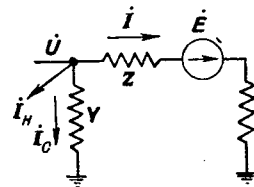


Рис. 8.

Напряжения прямой последовательности, будучи приложенными к соответствующей системе проводимостей поперечного звена полной схемы, должны вызвать появление в них системы токов всех трех последовательностей:

$$\dot{I}_c = \dot{U}_1 \| Y_{1a} \ a^2 Y_{1b} \ a Y_{1c} \| S.$$

Симметричные системы токов во всех продольных звеньях схемы

$$\dot{I} = \| \dot{I}_1 \ 0 \ 0 \|$$

могут получаться, если

$$\dot{I}_n = -\dot{U}_1 \| Y_{1a} - Y_1 \ a^2 (Y_{1b} - Y_1) \ a (Y_{1c} - Y_1) \| S.$$

Устранить действие э. д. с. \dot{E} и токовых нагрузок \dot{I}_n , которые в действительности отсутствуют, можно путем наложения. Достаточно дополнительно рассмотреть действие тех же активных элементов схемы в обратном направлении. При полной схеме такой расчет оказывается очень трудоемким.

Наиболее существенно упростить решение можно, если пренебречь влиянием всех поперечных звеньев схемы. Тогда схема для нахождения величин несимметрии получается неразветвленной (рис. 9).

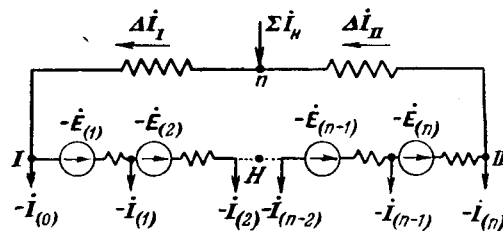


Рис. 9.

Система токов на любом участке такой схемы определяется непосредственно. В частности, для начала линии

$$\Delta \dot{I}_1 = (\Sigma \dot{E} - \Sigma \dot{I}_n Z') (\Sigma Z)^{-1}. \quad (I,1)$$

Суммирование э. д. с. \dot{E} и сопротивлений Z участков производится по всему контуру. Суммирование произведений из систем токовых нагрузок \dot{I}_n и соответствующих систем сопротивлений Z' между точками приложения токовых нагрузок и местом расположения поперечной ветви эквивалентного пункта питания производится по той части контура, в которую не входит участок с искомой системой токов.

При операциях с симметричными составляющими напряжений и токов матрицы сопротивлений должны быть представлены в следующем виде:

$$Z = \begin{vmatrix} Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{22} & Z_{20} & Z_{21} \\ Z_{01} & Z_{02} & Z_{00} \end{vmatrix} = \| Z_{kl} \|,$$

где индекс k соответствует номеру последовательности симметричной составляющей системы токов, а индекс l — номеру последовательности симметричной составляющей системы сопротивлений; сумма индексов $k + l$ соответствует номеру последовательности симметричной составляющей системы падений напряжения.

В целях упрощения записи в дальнейшем в соответствии с общепринятыми обозначениями принимается:

$$Z_{k0} = Z_k \text{ и } Y_{k0} = Y_k.$$

Более подробно выражение (I,1) записывается в следующем виде:

$$\Delta \dot{I}_I = (\Sigma \dot{I}_I \parallel 0 \ Z_{11} \ Z_{12} \parallel + \Sigma \dot{U}_I \parallel 0 \ Y_{11} \ Y_{12} \parallel Z') (\Sigma Z)^{-1}. \quad (I,2)$$

Для выполнения подсчетов по этой формуле достаточно иметь значения емкостных проводимостей участков только для систем прямой последовательности напряжений, но с учетом влияния земли. Погонные средние параметры z_k и y_k остаются неизменными вдоль линии, поэтому полные средние параметры Z_k и Y_k участков линии пропорциональны длинам участков и при равных длинах всех участков их значения одинаковы. Для всех участков остальной части системы параметры всех фаз предполагаются одинаковыми, поэтому соответствующие матрицы параметров получаются диагональными.

Поскольку диагональные члены матриц сопротивлений для любого участка линии значительно больше остальных, то в целях дальнейшего упрощения расчета последние можно заменить нулями³. Тогда из (I,2) получается:

$$\Delta \dot{I}_I = \sum_{m=1}^n \dot{I}_{m1} \parallel 0 \ \frac{Z_{11m}}{\Sigma Z_2} \ \frac{Z_{12m}}{\Sigma Z_0} \parallel + \sum_{m=0}^n \dot{U}_{m1} \parallel 0 \ Y_{11m} \ \frac{Z'_{2m}}{\Sigma Z_2} \ Y_{12m} \ \frac{Z'_{0m}}{\Sigma Z_0} \parallel. \quad (I,3)$$

Очевидно, что

$$\Delta \dot{I}_I - \Delta \dot{I}_{II} = \sum_{m=0}^n \dot{I}_{nm}.$$

При рассмотрении очень длинной линии с номинальным напряжением выше 220 кВ целесообразно внести некоторую поправку на влияние поперечных звеньев. Можно рекомендовать, например, сосредоточить в середине схемы замещения линии⁴ системы проводимостей средней части линии (половины длины), опустив остальные поперечные звенья. Тогда приближенный учет влияния поперечных звеньев можно выполнить следующим путем.

Система токовых нагрузок, приведенных с первой половины линии к пункту питания Π контура (рис. 9),

$$\dot{I}_{In} = \sum_{m=0}^{\frac{n}{2}} \dot{U}_{m1} \parallel 0 \ Y_{11m} \ \frac{Z'_{2m}}{Z_{21}} \ Y_{12m} \ \frac{Z'_{0m}}{Z_{01}} \parallel.$$

Здесь двумя штрихами отмечены сопротивления между точками приключения токовых нагрузок и серединой линии; Z_{21} и Z_{01} — сопротивления соответственно обратной и нулевой последовательностей участка цепи, расположенного между пунктами Π и H и содержащего начало линии.

Эквивалентная система э. д. с. на первой половине длины линии

$$\dot{E}_{In} = \sum_{m=1}^{\frac{n}{2}} \dot{I}_{m1} \parallel 0 \ Z_{11m} \ Z_{12m} \parallel.$$

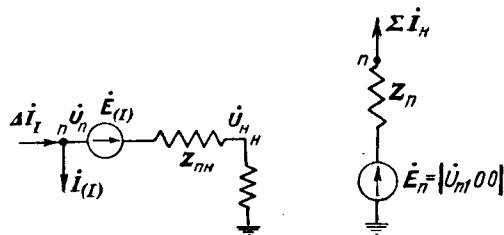


Рис. 10.

Рис. 11.

В результате может быть найдена система напряжений в середине линии (рис. 10):

$$\dot{U}_n = \dot{U}_n + \dot{E}_{In} - (\Delta \dot{I}_I - \dot{I}_{In}) Z_I,$$

где \dot{U}_n — система напряжений в пункте питания контура, которая определяется по найденной ранее системе токов $\Sigma \dot{I}_n$ и известным параметрам поперечной ветви эквивалентного источника питания (рис. 11);

Z_I — диагональная матрица сопротивлений;

$$Z_I = \begin{bmatrix} Z_{11} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{21} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{01} \end{bmatrix}.$$

С учетом выражения (I,3) получается:

$$\begin{aligned} \dot{U}_n &= \dot{U}_n + \sum_{m=1}^{\frac{n}{2}} \dot{I}_{m1} \times \\ &\times \parallel 0 \ Z_{11m} \left(1 - \frac{Z_{21}}{\Sigma Z_2}\right) \ Z_{12m} \left(1 - \frac{Z_{01}}{\Sigma Z_0}\right) \parallel - \\ &- \sum_{m=\frac{n}{2}}^n \dot{I}_{m1} \parallel 0 \ Z_{11m} \ \frac{Z_{21}}{\Sigma Z_2} \ Z_{12m} \ \frac{Z_{01}}{\Sigma Z_0} \parallel + \sum_{m=0}^{\frac{n}{2}} \dot{U}_{m1} \times \\ &\times \parallel 0 \ Y_{11m} \left(Z'_{2m} - Z'_{2m} \frac{Z_{21}}{\Sigma Z_2}\right) \ Y_{12m} \left(Z'_{0m} - Z'_{0m} \frac{Z_{01}}{\Sigma Z_0}\right) \parallel - \\ &- \sum_{m=\frac{n}{2}}^n \dot{U}_{m1} \parallel 0 \ Y_{11m} \ Z'_{2m} \ \frac{Z_2}{\Sigma Z_2} \ Y_{12m} \ Z'_{0m} \ \frac{Z_{01}}{\Sigma Z_0} \parallel = \\ &= \parallel 0 \ \dot{U}_{n2} \ \dot{U}_{n0} \parallel. \quad (I,4) \end{aligned}$$

Ограничиваясь одними диагональными членами матрицы проводимостей эквивалентного поперечного звена и исходя из найденной на основании выражения (I,4) системы напряжений в середине линии, можно оценить поправку, вносимую емкостными токами:

$$\dot{I}_\Delta = \frac{l}{2} \parallel 0 \ \dot{U}_{n2} \ y_2 \ \dot{U}_{n0} \ y_0 \parallel, \quad (I,5)$$

где l — длина линии.

Полученную систему токов можно принять поровну распределенной между ветвями цепочки сопротивлений, т. е. считать:

$$\Delta \dot{I}'_I = \Delta \dot{I}_I + \frac{1}{2} \dot{I}_\Delta. \quad (I,6)$$

Если длины шагов транспозиции вдоль линии одинаковы, то, пренебрегая влиянием остальной части системы

³ При этом теряется поправка для тока прямой последовательности.

⁴ Если n нечетное, то средний участок можно делить пополам.

в дополнительном расчете, можно упростить определение из выражения (I,3) системы токов в начале линии:

$$\Delta I_1 = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n I_{m1} \left\| 0 \frac{z_{11m}}{z_2} \frac{z_{12m}}{z_0} \right\| + \sum_{m=0}^n \dot{U}_{m1} \frac{n-m}{n} \left\| 0 y_{11m} y_{12m} \right\|. \quad (I,7)$$

Следовательно, пренебрегая несимметрией напряжений в начале линии, из выражения (I,4) можно получить и упрощенное выражение для системы напряжений в середине линии:

$$\begin{aligned} \dot{U}_n = & \frac{l_1}{2} \sum_{m=1}^{\frac{n}{2}} I_{m1} \left\| 0 z_{11m} z_{12m} \right\| - \\ & - \frac{l_1}{2} \sum_{m=\frac{n}{2}}^n I_{m1} \left\| 0 z_{11m} z_{12m} \right\| - \\ & - \frac{l_1^2}{2} \sum_{m=0}^{\frac{n}{2}} \dot{U}_{m1} \frac{m}{2} \left\| 0 y_{11m} z_2 y_{12m} z_0 \right\| - \\ & - \frac{l_1^2}{2} \sum_{m=\frac{n}{2}}^n \dot{U}_{m1} \frac{n-m}{2} \left\| 0 y_{11m} z_2 y_{12m} z_0 \right\|, \quad (I,8) \end{aligned}$$

где l_1 — длина одного шага транспозиции.

При известной системе токов в начале линии система токов на ее конце может быть найдена проще:

$$\Delta I_{II} = \Delta I_I - \sum_{m=0}^n I_{nm}$$

и соответственно

$$\Delta I'_{II} = \Delta I_{II} - \frac{1}{2} \Delta I_{\Delta}.$$

Таким образом, для выполнения расчета несимметрии нужно после подробного расчета симметричного режима работы линии определить погонные сопротивления всех трех фаз на всех участках линии для системы токов прямой последовательности и погонные проводимости всех трех фаз на всех участках линии для системы напряжений прямой последовательности, затем разложить полученные системы параметров на симметричные составляющие прямой и обратной последовательностей и, наконец, воспользоваться приведенными формулами. Для линий до 220 кВ включительно можно воспользоваться формулами (I,3) и (I,7), а для линий более высокого напряжения — формулами (I,3), (I,4), (I,5), (I,6) или (I,7), (I,8), (I,5) и (I,6). Наибольшая несимметрия токов будет в начале или в конце линии, а наибольшая несимметрия напряжений — в середине линии.

Литература

1. Правила ограждения сооружений связи и сигнализации от вредного действия установок сильного тока. Госэнергоиздат, 1944.
2. Н. Н. Миротюбов. Об электрической асимметрии линий электропередачи. Труды ЛПИ, № 3, 1948.
3. Н. А. Мельников. Расчеты режимов работы сетей электрических систем. Госэнергоиздат, 1950.
4. М. И. Михайлов и П. А. Азбукин. Воздушные и кабельные линии связи и их защита, ч. III. Связьиздат, 1940.

[26. 9. 1952]



Нагрев массивных роторов при асинхронном пуске

Доктор техн. наук И. А. СЫРОМЯТНИКОВ

Техническое управление Министерства электростанций СССР

При асинхронном пуске ротор находится под воздействием вращающегося магнитного поля, которое индуцирует в массивном теле ротора токи, проходящие вдоль оси ротора и замыкающиеся по торцам через систему клиньев.

Индуцируемые в роторе токи проходят в сравнительно тонком поверхностном слое, толщина которого зависит от их частоты. Чем меньше эта частота, тем больше глубина проникновения тока в глубь ротора.

Токи нагревают поверхностный слой. Часть развивающегося тепла путем теплопроводности передается в глубь ротора. Если потери велики, то возможен значительный нагрев поверхностного слоя, так как тепло не успевает отводиться в глубь ротора. Явление тогда, в известной мере, подобно процессу поверхностной закалки. Возможны также местные нагревы торцов ротора.

Предлагается упрощенный метод оценки температуры ротора в предположении, что выделившееся за пусковой период тепло расходуется на нагрев условной зубцовой зоны. Приведены экспериментальные данные из работы, выполненной в ЦНИЭЛ под руководством автора.

Общее количество тепла, выделяющегося в роторе за время пуска, сравнительно невелико. Если, например, для случая асинхронного пуска

вхолостую без турбины подсчитать тепло, выделяющееся в роторе турбогенератора 25 000 квт, и полагать, что потери равномерно распределены по всему объему, то температура ротора должна будет повыситься за время пуска только на 6° С. В действительности же при достаточно большом напряжении при пуске поверхность тела ротора может нагреться до совершенно недопустимых значений. Поэтому для машин с массивным ротором при выборе напряжения при пуске нельзя исходить только из общего количества тепла, выделяемого в роторе.

Математическое решение задачи нагрева реального ротора чрезвычайно сложно. Предварительно рассмотрим нагрев сплошного ротора.

Расчет нагрева ротора как сплошного цилиндра усложняется тем, что удельные потери в роторе зависят от скольжения (частоты) и тем самым от времени.

Расчет можно осуществить в следующем порядке.

Полагаем, что при асинхронном пуске являются заданными кривые вращающего момента и момента сопротивления приводимого механизма в зависимости от скольжения и механическая постоянная времени двигателя и механизма. По этим данным можно построить кривую разбега агрегата и, следовательно, кривую изменения скольжения по времени. Зная скольжение, можно при заданном напряжении на зажимах машины найти удельные потери в зависимости от времени, а затем, пользуясь законами теплопередачи для нагрева массивных тел, установить нагрев ротора за время пуска.

Теория индукционного нагрева сплошного цилиндра позволяет установить связь между глубиной проникновения магнитного потока¹

$$\delta = 5000 \sqrt{\frac{p}{\mu f}} \text{ и удельными потерями в роторе}$$

$$p = 1,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{f B_m a H_m^3}.$$

Распределение тепловой волны в сплошном массивном роторе можно определить, пользуясь известным дифференциальным уравнением теплопроводности. По формулам (1,3) и (1,4) приложения были произведены вычисления распространения тепловой волны в роторе при неизменных значениях скольжения, потерь, глубины проникновения δ_0 и при отсутствии теплоотдачи в окружающую среду².

На рис. 1 дана на основе этих вычислений температура поверхности в функции времени. Здесь же показана кривая остывания ($p=0$) поверхности.

При $p=2000 \text{ кВт/м}^2$ через 20 сек с начала нагрева температура поверхности достигает 475°C .

При изменении потерь температура поверхности может быть определена путем наложения на кривую остывания ($p=0$) кривой нагрева, соответствующей новому значению потерь.

Например, если в момент $t=20 \text{ сек}$ (рис. 1) потери изменяются с 2000 до 1500 кВт/м^2 , то следует от точки O' отложить отрезок $O'A'$, соответствующий отрезку OA кривой нагрева для $p=1500 \text{ кВт/м}^2$. Результирующая температура $O'B'$ за точкой O' определяется как сумма ординат кривой $p=0$, отсчитываемых от оси $O'C$. Если p после точки O мало, то может оказаться, что, несмотря на продолжающийся про-

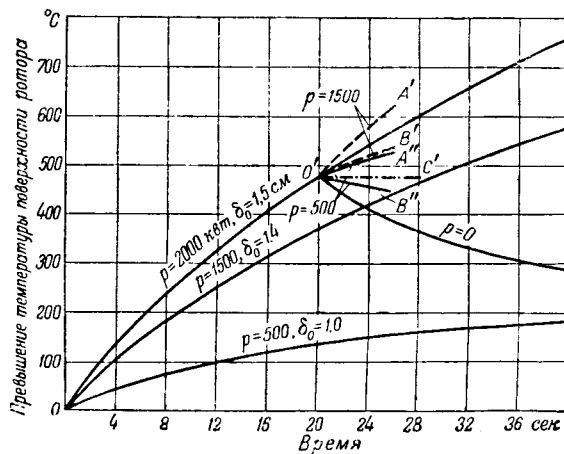


Рис. 1. Температура поверхности ротора в зависимости от времени для различных значений удельных потерь.

цесс выделения тепла, температура на поверхности понизится (кривая $O'B''$ для $\Delta p=500 \text{ кВт/м}^2$). Это наблюдается тогда, когда количество тепла, отводимое внутрь ротора путем теплопроводности, больше количества тепла, выделяющегося в наружном слое.

В первом приближении можно принять, что скорость вращения пропорциональна времени от начала пуска и что потери в роторе пропорциональны скольжению s . Тогда глубина проникновения $\delta_0 \approx \frac{\delta_0(s=1)}{\sqrt{s}}$, где $\delta_0(s=1)$ — глубина

проникновения при неподвижном роторе. Для этих условий на основе проведенных вычислений на рис. 2 даны температуры, достигаемые за время пуска в зависимости от его длительности. Они построены для различных значений удельных потерь p в начальный момент при неподвижном роторе.

Начальное значение глубины проникновения потока не сказывается существенно на температуре. Например, при времени пуска 40 сек и $\delta_0(s=1)=1,5 \text{ см}$ температура на поверхности всего лишь на 12% ниже, чем при $\delta_0=1 \text{ см}$.

Наличие пазов в роторе значительно изменяют картину распределения магнитного поля,

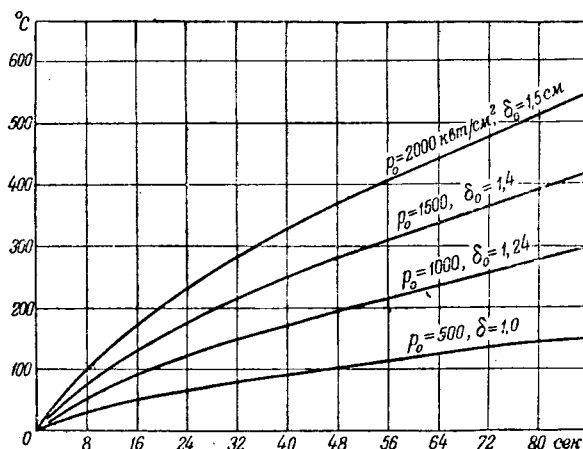


Рис. 2. Максимальные температуры, достигнутые за время пуска.

¹ Г. Т. Третьяк и Н. Е. Лысов. Основы тепловых расчетов электрической аппаратуры, ОНТИ, Ленинград—Москва, 1935.

² При вычислениях было принято для роторной стали марки: 0,25...0,35% O; 0,17...0,37% Si; 0,3...0,6% Mn; 0,5...0,8% Cr; 1,5...2,0% Ni; 0,25...0,4% Mo, теплопроводность $\lambda=0,49 \text{ Вт/}^\circ\text{C см}$; теплоемкость $C=0,5 \text{ Дж/}^\circ\text{C г}$.

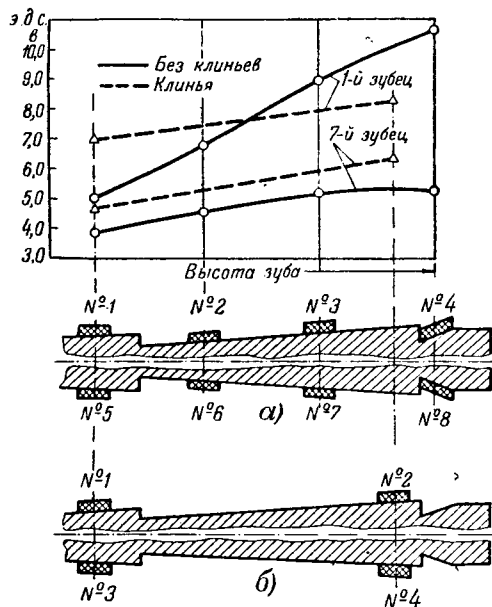


Рис. 3. Распределение магнитного потока по зубцам ротора.

а — расположение катушек при опыте без клиньев (1, 2, 3, 4 — катушки на первом зубе; 5, 6, 7, 8 — на седьмом); б — при клиньях (1, 2 — катушки на первом и втором зубе, 3 и 4 — на седьмом).

токов и температур в толще материала, получаемых для массивного ротора. К сожалению, аналитическое исследование изменения указанных величин во времени и по толще ротора с учетом зубцов чрезвычайно сложно. Рассмотрим возможность упрощения решения.

Мыслимы два предельных случая: 1) магнитный поток проходит только по вершинам зубцов; 2) магнитный поток проходит по поверхности зубцов, проникая, кроме того, до дна паза по боковым стенкам пазов.

Если магнитный поток проходит только по вершинам зубцов, то при одной и той же выделяемой мощности удельные потери в роторе с пазами будут больше, чем у гладкого ротора. Следовательно, глубина проникновения потока больше.

Когда магнитный поток проходит по полной поверхности зубца, активная поверхность ротора значительно увеличивается и соответственно уменьшаются удельные потери и глубина проникновения потока.

Если взять за основу первый случай и предположить, что все потери концентрируются в верхней части зубцов, и соответственно удельные потери подсчитывать по поверхности головок зубцов, то мы получим метод расчета с «запасом». Подсчитанные температуры будут выше действительных. Наличие некоторого запаса, вообще говоря, желательно, так как при расчете не учитываются возможные небольшие местные повышения температуры на торцах ротора, где токи, замыкаясь, протекают поперек клиньев через контакт между клиньями и бочкой.

Практически расчет допустимости асинхронного пуска по условиям нагрева рекомендуется проводить в таком порядке.

Исходными величинами являются: напряжение сети, реактивные сопротивления, включенные

между пускаемой машиной и мощной сетью, и параметры машины: реактивные и активные сопротивления, механическая постоянная времени. По этим данным подсчитывается пусковой ток, строится кривая момента в зависимости от скольжения и определяется длительность пуска.

По известному пусковому току $I_{1к}$ и приведенному активному сопротивлению ротора в неподвижном состоянии $R'_{2к}$ подсчитывают потери в роторе в начальный период пуска:

$$P_{2к} = 3I_{1к}^2 R'_{2к} \quad (1)$$

и определяют удельные потери

$$p = \frac{P_{2к}}{F_s}, \quad (2)$$

где F_s — поверхность стали бочки ротора по головкам зубцов. С достаточной для практики точностью можно принять, что F_s составляет 60% от полной цилиндрической поверхности бочки ротора, включая и клинья.

Кривые рис. 2 позволяют по этим данным найти максимальное повышение температуры на поверхности ротора за время пуска. Пуск следует считать допустимым, если эта температура не превышает 200°С.

Экспериментальное определение распределения магнитного потока. Для выяснения действительного распределения магнитного потока в зубчатом роторе были проведены испытания с генератором завода «Электросила» Т²⁷⁵⁻¹⁰₇₀, 1 000 квт, 1 250 квт, 6,6 кв, 109,5 а, 3 000 об/мин, у которого производилась полная перемотка ротора.

Попутно проверялось влияние клиньев на параметры ротора. При испытаниях были удалены обмотка возбуждения и бандажи.

Выясвилось, что в испытуемой машине наличие клиньев уменьшает активное сопротивление ротора по продольной оси на 12% и по поперечной оси всего лишь на 6%. Среднее значение активного сопротивления ротора снижается на 10%. Сверхпереходное реактивное сопротивление по продольной оси уменьшилось на 10%, по поперечной оси на 13%, среднее их значение снизилось на 11%. Таким образом, клинья сравнительно мало влияют на измерявшиеся параметры.

Для определения распределения магнитного потока были намотаны катушки из медной изолированной проволоки на два зубца: первый и седьмой, считая от большого зуба (рис. 3). Напряжение в катушках измерялось при питании обмотки статора трехфазным током.

В первом зубце радиальный магнитный поток значительно больше, чем в седьмом (рис. 3). В верхней части это увеличение составляет 100%, в нижней — 34%. Поток в нижней части первого зуба составляет 48% от потока в верхней его части, а для седьмого соответственно 72%. Таким образом, по мере удаления от большого зуба магнитный поток уменьшается по величине, а распределение потока по высоте выравнивается. На-

личие клиньев несколько снижает неравномерность распределения потока как по окружности, так и по высоте.

Эти испытания показывают, что радиальный магнитный поток сохраняет значительную величину в основании зубца даже при частоте 50 гц, иначе говоря, наличие пазов увеличивает активную поверхность ротора и, следовательно, уменьшает его активное сопротивление ротора по сравнению с сопротивлением гладкого цилиндрического ротора. Поэтому удельные потери и соответственно нагрев при пуске должны быть меньше, чем это дает изложенный метод расчета.

Экспериментальное определение нагрева. Испытывался турбогенератор завода «Электросила» Т2120/80 № 14180, 5 000 квт, 6 250 ква, 6 300 в, 576 а, 3 000 об/мин, используемый в качестве синхронного компенсатора в сети 3 кв при соединении обмотки статора треугольником. Генератор запускается без турбины. Пуск осуществляется по схеме переключения со звезды на треугольник. Ротор турбогенератора реконструированный: удалена успокоительная обмотка и устранены посадочные бандажей с бочки ротора.

На рис. 4 приведены кривые тока и напряжения статора, напряжение на кольцах ротора и скорости вращения при пуске. Там же нанесена кривая напряжения $U_{\text{внт}}$ на контрольном витке в воздушном зазоре машины. Кривые построены на основании обработки одной из осциллограмм пуска.

Как видно из кривой разбега, скорость вращения практически изменяется по прямой линии, что и было принято нами при расчете нагрева ротора за время пуска. Напряжение на зажимах машины при пуске в среднем равно 2400 в или $0,38U_n$. Пусковой ток 1520 а или $2,63I_n$.

Из данных испытаний, предшествовавших описываемому, известно, что $R'_{2\kappa} = 0,27 \text{ ом}$. Потери в роторе при пуске:

$$p_{2\kappa} = 3I_{1\kappa}^2 R'_{2\kappa} = 3 \cdot 1520^2 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} = 1870 \text{ квт}.$$

Поверхность бочки ротора по головкам зубцов — $1,85 \text{ м}^2$:

$$p = \frac{1870}{1,85} \approx 1000 \text{ квт/м}^2.$$

По рис. 3 для $p = 1000 \text{ квт/м}^2$ и длительности пуска 28 сек повышение температуры на поверхности ротора за время пуска должно составлять 140°С .

Нагрев ротора за время пуска был установлен с помощью термоиндикаторов (красок и карандашей), изготовленных ЦНИИТМАШ. Осмотр термоиндикаторов после пуска машины показал, что температура поверхности бочки ротора в среднем повысилась только на 75°С , значительно меньше, чем по расчету. Однако в отдельных местах стыка между сталью ротора и клиньями зарегистрировано повышение температур в $140...180^\circ \text{С}$. Насколько можно судить по замерам на торцах бочки ротора, уже на глубине 8 мм температура не повышалась более 65°С (нижний предел темпе-

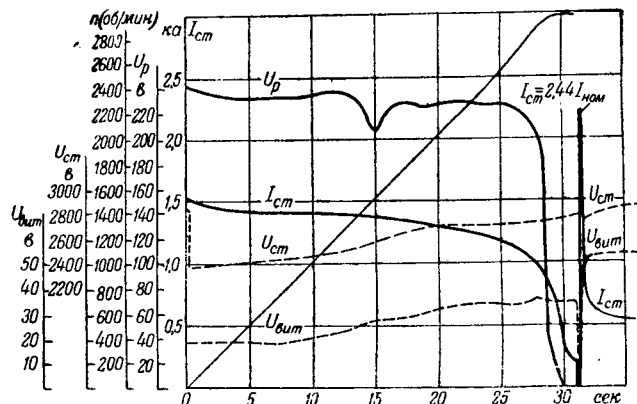


Рис. 4. Пуск турбогенератора 5 000 квт.

U_p — напряжение на кольцах ротора; I_{cm} — ток статора;
 U_{cm} — напряжение статора; U_{vnt} — напряжение в воздушном зазоре.

ратур, измеряемых примененными при опыте термоиндикаторами). Это указывает на то, что изоляция обмотки возбуждения не подвергается при пуске действию высоких температур.

Выводы. Проведенная работа, являющаяся первой попыткой внесения некоторой ясности в вопрос нагрева массивных роторов при асинхронном пуске, позволяет сделать следующие выводы:

1. Для практической оценки допустимости асинхронного пуска массивного ротора может быть использован изложенный метод расчета. Расчеты показывают, что для многих машин асинхронный пуск можно производить при напряжениях, составляющих 0,5 и более от номинального. Это позволяет весьма просто применить асинхронный пуск для ряда машин, работающих в качестве компенсаторов или двигателей, используя реактивные сопротивления, органически входящие в схему системы (постоянно включенные реакторы, трансформаторы и линии электропередачи).

2. Асинхронный пуск может применяться для машин с отставленными от ротора бандажами.

3. Следует продолжить исследования в целях уточнения метода расчета определения нагрева при асинхронном пуске. В частности, необходимо определить влияние пазов, клиньев, а также установить нагрев посадочных мест в роторах с бандажами, насаженными на бочку ротора.

Приложение. Температурное поле бочки ротора при равномерном распределении потерь по его наружному слою³. Для бесконечно длинного цилиндра при отсутствии теплоотдачи в окружающую среду можно написать следующее дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \vartheta}{\partial r} \right) + \frac{\Delta p_v}{C\gamma}; \quad (1.1)$$

здесь p_v — потери в единице объема, вт/см^3 ;

$C\gamma$ — объемная теплоемкость, $\text{дж/см}^3 \text{ } ^\circ\text{С}$;

λ — теплопроводность, $\text{вт/см } ^\circ\text{С}$;

ϑ — температура, $^\circ\text{С}$;

t — время, сек ;

r — радиус от центра рассматриваемой точки, см .

³ Все расчеты и построения кривых были выполнены Б. Г. Оркиной.

В конечных разностях уравнение (1,1) переписывается так:

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\Delta^2 \vartheta}{\Delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\Delta \vartheta}{\Delta r} \right) + \frac{\Delta p_v}{C\gamma}. \quad (1,2)$$

Здесь

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \frac{\vartheta_{n,k+1} - \vartheta_{n,k}}{\Delta t}, \quad (1,2a)$$

$$\frac{\Delta \vartheta}{\Delta r} = \frac{\vartheta_{n+1,k} - \vartheta_{n-1,k}}{2\Delta r}, \quad (1,2b)$$

$$\frac{\Delta^2 \vartheta}{\Delta r^2} = \frac{1}{\Delta r^2} (\vartheta_{n+1,k} + \vartheta_{n-1,k} - 2\vartheta_{n,k}), \quad (1,2в)$$

$$r = n\Delta r, \quad (1,2г)$$

k — номер интервала времени;
 n — номер слоя, считая от центра ротора.

Подставим эти значения в уравнение (1,2) $\vartheta_{n,k+1} - \vartheta_{n,k} = \frac{2\lambda\Delta t}{C\gamma\Delta r^2} \left(\frac{\vartheta_{n+1,k} + \vartheta_{n-1,k}}{2} - \vartheta_{n,k} + \frac{\vartheta_{n+1,k} - \vartheta_{n-1,k}}{4n} \right) + \frac{\Delta p_v \Delta t}{C\gamma}$ (1,2). Далее для упрощения выберем Δt так, чтобы $\frac{2\lambda\Delta t}{C\gamma\Delta r^2} = 1$. Обозначим $\frac{p_v \Delta t}{C\gamma} = \theta$.

θ — повышение температуры при отсутствии теплоотдачи за время Δt за счет потерь p_v на единицу объема.

Тогда согласно (1,3) при $\Delta r = \frac{\delta_0}{3}$ и $p = \frac{p_v}{10\delta_0}$ получаем:

$$\theta = \frac{\delta_0 p}{180\lambda}.$$

При $\Delta r = 0,5$ см, $R_{ром} = 50$ см, число слоев $n = \frac{50}{0,5} = 100$. При этом в уравнении (1,5d) для наружных 30 слоев $\frac{1}{4n} = \frac{1}{4 \cdot 100} \div \frac{1}{4 \cdot 70}$; $\frac{1}{4n} = \frac{1}{400} \div \frac{1}{280}$ эта величина весьма мала по сравнению с $\frac{1}{2}$ и для наружных слоев ею можно пренебречь.

При этих условиях (1,2d) превращается в уравнение для плоской поверхности:

$$\frac{\vartheta_{n,k+1}}{\theta} = \frac{\vartheta_{n+1,k} + \vartheta_{n-1,k}}{2\theta} + 1. \quad (1,3)$$

Уравнение действительно для слоев, в которых выделяется тепло.

Для точек, лежащих дальше глубины проникновения потерь, уравнение (1,3) принимает вид:

$$\frac{\vartheta_{n,k+1}}{\theta} = \frac{\vartheta_{n+1,k} + \vartheta_{n-1,k}}{2\theta}. \quad (1,4)$$

[26. 3. 1951]



Получение оптимальной кривой тока двигателя при ослаблении потока

Кандидат техн. наук, доц. Н. П. КУНИЦКИЙ

Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии

В релейно-контакторных схемах электроприводов постоянного тока большой мощности, работающих с ослаблением потока, процесс ослабления потока происходит обычно очень медленно. Динамический ток мал, мало и ускорение двигателя. Это снижает производительность механизмов. Однако характер кривой тока двигателя определяется параметрами системы ослабления потока. Оказывается, существуют такие оптимальные параметры системы, которые позволяют получить в переходном процессе оптимальную кривую тока двигателя: максимально допустимый ток обеспечивается во всем диапазоне ослабления потока. Задачей настоящей работы является определение этих оптимальных параметров.

Назовем предельным током возбуждения двигателя I_{e_n} такой ток, который достигается при неснятой форсировке ослабления потока. Далее, обозначим I_{e_0} — начальный ток возбуждения двигателя;

$$T_\theta = \frac{L_\theta}{R_\theta + f\omega_c + R} \quad (1)$$

Путем выбора оптимальных значений предельного потока и постоянной времени цепи возбуждения двигателя может быть получена оптимальная кривая тока двигателя при ослаблении его потока в схемах, в которых переходный процесс тока возбуждения двигателя описывается уравнением с экспоненциальной зависимостью. Для определения этих значений даются расчетные формулы. На базе теоретическо-экспериментальных исследований предлагается параметрическая релейно-контакторная схема ослабления потока, позволяющая повысить ускорение двигателя.

— приведенная постоянная времени цепи возбуждения двигателя с учетом действия противокомпаундной обмотки возбудителя; L_θ и R_θ — индуктивность и сопротивление этой цепи, включая сопротивление якоря возбудителя; R — дополнительное форсировочное

сопротивление, включаемое в цепь обмотки возбуждения двигателя; f — тангенс угла наклона к оси абсцисс характеристики холостого хода возбудителя; ω_c — число витков серийной обмотки возбудителя.

Назовем E_{e_n} предельной э. д. с. возбудителя, создаваемой его шунтовой обмоткой, при установившемся предельном токе возбуждения возбудителя. Очевидно, э. д. с.

$$E_{e_n} = I_{e_n} (R_\theta + f\omega_c + R). \quad (2)$$

При процессе ослабления потока в каскадной системе возбуждения двигателя постоянная времени цепи возбуждения возбудителя мала, и можно написать для тока возбуждения двигателя

$$I_\theta = I_{e_n} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_\theta}} \right) + I_{e_0} e^{-\frac{t}{T_\theta}}. \quad (3)$$

Оптимальный закон изменения потока двигателя можно практически получить, заменяя в первом приближении оптимальную кривую потока двигателя (в относительных единицах) $\varphi = f(t)$ [Л. 1] экспоненциальной кривой [Л. 2]:

$$\varphi = \mu\varphi_n + (\varphi_0 - \mu\varphi_n)e^{-t/\tau_s}, \quad (4)$$

соответствующей уравнению (3), где $\tau_s = \frac{t}{T_s}$; T_s — постоянная времени при средней индуктивности возбуждения двигателя в пределах рассматриваемого изменения потока; φ_n — предельный относительный поток двигателя; μ — коэффициент, учитывающий насыщение; φ_0 — начальный поток.

Поток (4) характеризуется предельным потоком $\mu\varphi_n$ и постоянной времени T_s , которые вообще могут быть изменяемы. Уравнение тока i двигателя в относительных единицах получено в [Л. 2] при пренебрежении падением напряжения в якоре.

Это уравнение и выражение (4) позволяют получить:

$$i = \frac{v^2 - v_1^2 \mu\varphi_n}{\delta} + \mu_c v, \quad (5)$$

где μ_c — относительный момент сопротивления; $\varphi = \frac{i}{v}$ и $v = \frac{n}{n_0}$ — относительная скорость вращения двигателя;

$$\delta = \frac{T_s}{T_m} \text{ и } T_m = \frac{GD^2 n_0}{375 M_n}.$$

Время разгона двигателя при ослаблении потока сокращается до минимума, когда ток двигателя при любой скорости максимален.

Допустимый максимальный ток двигателя при скорости v_1 будет $i_{1 \text{ макс}}$, а при скорости v_2 $i_{2 \text{ макс}}$. Желая иметь токи двигателя равными $i_{1 \text{ макс}}$ и $i_{2 \text{ макс}}$ при скоростях v_1 и v_2 , получим, подставляя в уравнение (5) величины $v = v_1$, $i = i_{1 \text{ макс}}$ и $v = v_2$, $i = i_{2 \text{ макс}}$:

$$\mu\varphi_n = \frac{\left(\frac{i_{2 \text{ макс}} - \mu_c v_2}{i_{1 \text{ макс}} - \mu_c v_1} \right) v_1^2 - v_2^2}{\left(\frac{i_{2 \text{ макс}} - \mu_c v_2}{i_{1 \text{ макс}} - \mu_c v_1} \right) v_1^3 - v_2^3} \quad (6)$$

$$\delta = \frac{v_1^2 - v_1^3 \mu\varphi_n}{i_{1 \text{ макс}} - \mu_c v_1}. \quad (7)$$

Приведенные уравнения позволяют определить значения $\mu\varphi_n$ и δ , необходимые для того, чтобы при данных скоростях v_1 и v_2 получить оптимальные токи $i_{1 \text{ макс}}$ и $i_{2 \text{ макс}}$ для заданного μ_c .

Для сравнительно небольшого значения допустимого максимального тока (например, $i_{0 \text{ макс}} = 1,5$) будет $i_{1 \text{ макс}} = i_{2 \text{ макс}}$, в этом случае оптимальный предельный поток $\mu\varphi_n$ при $\mu_c = 0$, как видно из формулы (6), не зависит от величины максимального тока.

Найдя величину δ и T_s , можно в конечном итоге найти по формуле (1) величину дополни-

тельного сопротивления R , которое следует включить в цепь возбуждения при ослаблении потока.

Зная оптимальный предельный поток $\mu\varphi_n$, находим [Л. 2] предельный ток возбуждения I_{en} .

По формуле (2) находят E_{en} и затем сопротивление, которое должно быть введено в цепь возбуждения возбудителя. Построенные графоаналитическим методом кривые тока двигателя для оптимальных значений $\mu\varphi_n$ и δ доказывают их достаточную точность.

Влияние электромагнитной постоянной времени. На рис. 1 даны экспериментальные кривые тока i и скорости n двигателя для неизменного предельного тока возбуждения $I_{en} = 10 \text{ а}$ и различных значений постоянной T_s , снятые на двигателе МП-8 475 л. с., 1800 а, 220 в, 150/300 об/мин одного из прокатных станов при холостом ходе. На рис. 2 даны для тех же данных кривые тока возбуждения I_e двигателя и напряжения U_o на зажимах его обмотки возбуждения.

В качестве оптимального режима при холостом ходе рассматриваем кривые 4 и 9 для неизменного тока при ослаблении потока, равного 1,29 номинального (2300 а). При этом постоянная $T_s = 0,44 \text{ сек}$ и $I_{en} = 10 \text{ а}$ ($\mu\varphi_n = 0,42$); соответствующие расчетные значения по формулам: $\mu\varphi_n = 0,49$ и $T_s = 0,457$ ($T_m = 1$).

Из рис. 1 следует, что при постоянной времени 0,247 сек (кривая 10), меньшей оптимальной $T_s = 0,44 \text{ сек}$, ток двигателя достигает значения 1,97 номинального, значительно превышающего заданную расчетную величину 1,29. Наоборот, при постоянных времени $T_s = 0,58$, 1 и 1,94 сек (кривые 6, 7, 8), превосходящих оптимальное значение, ток двигателя, соответственно равный 0,865; 0,486 и 0,262, значительно меньше заданной величины 1,29, и скорость двигателя растет медленно. В то время как при оптимальном значении $T_s = 0,44 \text{ сек}$ время разгона до скорости 260 об/мин или 1,73 номинальной равно 1,14 сек, а ускорение составляет 106 об/мин, при $T_s = 1$ время разгона увеличивается до

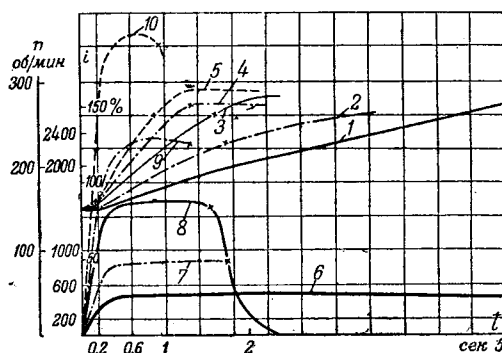


Рис. 1. Скорость вращения n (кривые 1...5) и ток i (кривые 6...10) двигателя МП-8 475 л. с. для неизменного предельного тока возбуждения $I_{en} = 10 \text{ а}$.

Кривые 1,6 — $T_s = 1,94$; 2,7 — $T_s = 1$; 3,8 — $T_s = 0,58$; 4,9 — $T_s = 0,44$; 5,9 — $T_s = 0,247$.

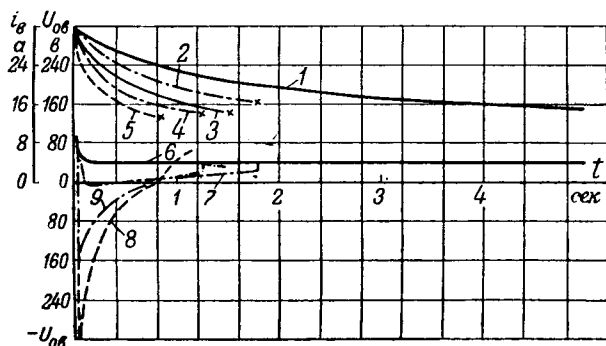


Рис. 2. Напряжение $U_{об}$ на зажимах обмотки возбуждения (кривые 1...5) и ток возбуждения (кривые 6...8) двигателя МП-8, 475 л. с. для неизменного предельного тока возбуждения $I_{обн} = 10$ а.

Кривые 1,6 — $T_{\theta} = 1,94$; 2,7 — $T_{\theta} = 1$; 3 — $T_{\theta} = 0,58$;
4,9 — $T_{\theta} = 0,44$; 5,8 — $T_{\theta} = 0,247$.

3,3 сек, а ускорение падает до 35,5 об/мин.

Из рис. 1 следует, что ток двигателя в переходном процессе ослабления потока сохраняется практически неизменным при одних и тех же значениях тока возбуждения $I_{\theta n} = 10$ а, независимо от величины постоянной T_{θ} , от которой зависит только величина тока. Таким образом, постоянная T_{θ} совершенно не влияет на характер кривой изменения тока двигателя при ослаблении потока вхолостую. Для любых значений T_{θ} ток двигателя при оптимальном предельном токе возбуждения ($I_{\theta n} = 10$ а) будет неизменным в течение всего процесса ослабления потока.

Влияние предельного потока. Ток двигателя в сильной степени зависит от величины предельного потока.

На рис. 3 представлены кривые динамического тока $i_{\partial o}$, отнесенного к $T_{\mu} = T_{\theta} = 1$ в зависимости от времени:

$$i_{\partial o} = \frac{(\varphi_0 - \mu \varphi_n) e^{-\tau_{\theta}}}{\varphi^3}. \quad (8)$$

На кривых вертикальными линиями отмечено время разгона двигателя от скорости $v_1 = 1$ до скорости $v_y = 2$ (для кривой при $\mu \varphi_n = 0,6$ $v_y = 1,67$), найденное по формуле [Л. 2]

$$\tau_{\theta n} = \ln \frac{\mu \varphi_n - \varphi_0}{\mu \varphi_n - \varphi_y}, \quad (9)$$

где φ_y — конечный установившийся поток.

Как следует из формул (4) и (8), характер изменения тока $i_{\partial o}$ определяется значением $\mu \varphi_n$.

Время достижения током своего максимального значения может быть определено по формуле [Л. 2]

$$\tau_{\theta \max} = \ln 2 \left(\frac{\varphi_0}{\mu \varphi_n} - 1 \right).$$

Если это время $\tau_{\theta \max}$ больше времени $\tau_{\theta n}$ разгона двигателя от скорости $v_1 = 1$ до $v_y = 2$, то

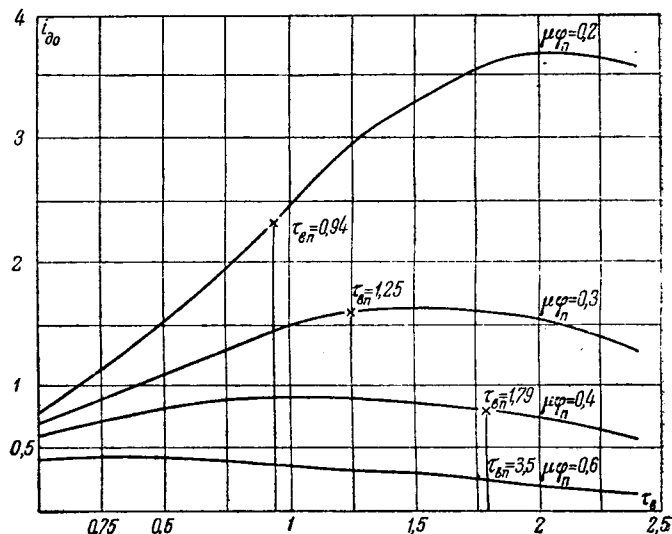


Рис. 3. Динамический ток $i_{\partial o}$ в зависимости от времени τ_{θ} .

ток двигателя в пределах рабочего участка будет возрастать.

Из рис. 3 следует, что для холостого хода двигателя существует одно определенное независимо от T_{θ} значение $\mu \varphi_n$, при котором ток двигателя в процессе ослабления потока остается практически постоянным. При меньших значениях предельного потока ток будет возрастать со временем. Это положение справедливо при любых значениях T_{θ} .

На рис. 4 даны экспериментальные кривые скорости n (кривые 1...4) и тока i (4...8) для различных значений предельного тока $I_{\theta n}$, но при одной и той же величине оптимальной постоянной времени $T_{\theta} = 0,365 \dots 0,42$.

Из рис. 4 видно, что, в то время как при оптимальном предельном токе возбуждения $I_{\theta n} = 10$ а (кривая 6) ток двигателя в переходном процессе остается практически постоянным, уменьшение предельного тока возбуждения до

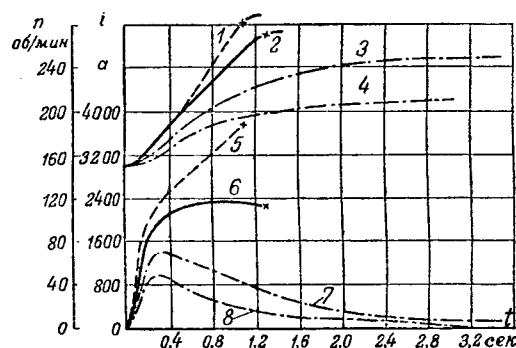


Рис. 4. Скорость двигателя n (кривые 1...4) и ток i (кривые 5...8) в зависимости от времени.

$T_{\theta} = 0,365 \dots 0,42$.

Кривые 1,5 — $I_{\theta n} = 7$ а; 2,6 — $I_{\theta n} = 10$ а; 3,7 — $I_{\theta n} = 15$ а;
4,8 — $I_{\theta n} = 19$ а.

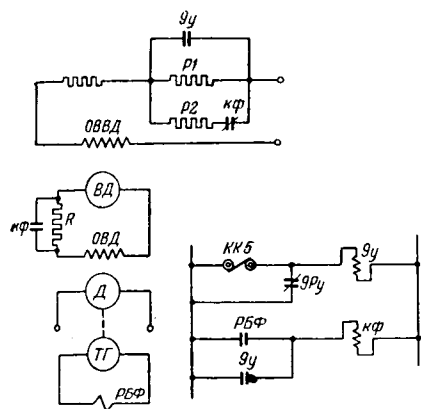


Рис. 5. Параметрическая схема ослабления потока двигателя реверсивного прокатного стана.

7 а вызывает возрастающий с течением времени ток двигателя, увеличение же I_{en} вызывает спадание тока двигателя.

При оптимальном режиме ослабления потока со значительным током двигателя оптимальная предельная э. д. с. возбуждателя обычно превышает свое установившееся значение при ослабленном потоке.

На основе изложенных выше теоретических и экспериментальных исследований автор предложил с целью повышения ускорения двигателя выше основной скорости новую параметрическую схему ослабления потока двигателя реверсивного прокатного стана с релейно-контакторным управлением (рис. 5).

Для уменьшения электромагнитной постоянной времени цепи возбуждения двигателя до оптимального значения в эту цепь при ослаблении потока включается размыканием контактов контактора КФ форсировочное сопротивление R . Получение при ослаблении потока оптимальной предельной э. д. с. возбуждателя осуществляется приключением к имеющемуся сопротивлению $P1$ через нормально замкнутые контакты контактора КФ сопротивления $P2$. Форсировка ослабления потока снимается реле РБФ.

Исследование параметрической схемы ослабления потока двигателя 7000 л. с. блюминга. Прокатные двигатели работают с нагрузкой.

Статический ток $i_c = \frac{U_c}{\varphi}$ при повышении скорости выше основной растет со временем, поэтому динамический ток для сохранения тока двигателя неизменным должен уменьшаться со временем.

При снятии осциллограмм рис. 6 осуществлялось одновременно уменьшение постоянной времени T_a цепи возбуждения двигателя (включением форсировочного сопротивления R) и повышение предельной э. д. с. возбуждателя E_{en} по сравнению с установившимся значением 124 в при ослабленном потоке.

В таблице приведены данные осциллограмм. В таблице

$$R_s = R_0 + f\omega_c + R.$$

В обычной действующей схеме (кривые, 1,5) форсировочное сопротивление $R=0$, предель-

ный ток I_{en} равен установившемуся 160 а, ток двигателя 1430 а, ускорение всего лишь 6...8 об/мин сек.

Кривые рис. 6	R , ом	R_s , ом	T_a , сек	E_{en} , в	I_{en} , а
1,5	0	0,78	0,71	124	160
2,6	0,5	1,28	0,43	124	97
3,7	0,5	1,28	0,43	204	160
4,8	0,915	1,69	0,32	200	118
9	0,72	1,5	0,37	233	155
10	0,915	1,69	0,32	233	137,5

Из сравнения осциллограмм 2, 5 и 3, 7 (рис. 6) видно, что увеличение предельной э. д. с. возбуждателя придает кривой тока резко падающий характер.

На рис. 6 сопоставлены кривые 3, 7 и 4, 8 при почти одинаковых предельных э. д. с. E_{en} (200 в), но при различных сопротивлениях $R=0,5$ и $0,915$ ом ($T_a=0,43$ и $0,32$ сек). Кривые тока двигателя для этих осциллограмм параллельны. Таким образом, увеличение форсировочного сопротивления от $0,5$ до $0,915$ ом при неизменной величине предельной э. д. с. вызывает увеличение максимума тока от 2400 до 3800 а, наклон же кривой тока сохраняется. Для кривых 4, 8 ускорение двигателя равно 19,4 об/мин сек. То же положение примерно имеет место и для кривых 9 и 10 (рис. 6).

Из сопоставления кривых 10, 8 следует, что при одинаковом R и различных E_{en} , увеличивая E_{en} , можно достичь возрастания степени спадания тока двигателя, сохраняя примерно в то же время при небольших изменениях E_{en} его максимальное значение. Наоборот, сопоставляя между собой кривые 7 и 8 и кривые 9 и 10, снятые при одинаковых E_{en} , приходим к заключению, что увеличением форсировочного сопротивления можно повысить пик тока, оставив примерно неизменной степень спадания кривой тока.

Следовательно, изменением только одной постоянной времени T_a можно варьировать максимум тока двигателя, мало меняя наклон его кривой; изменением только предельной э. д. с.

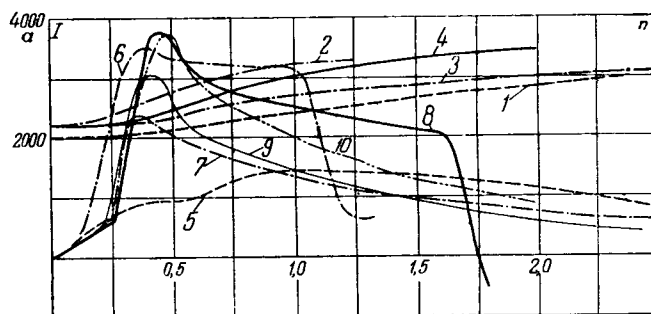


Рис. 6. Скорость n и ток I двигателя блюминга.

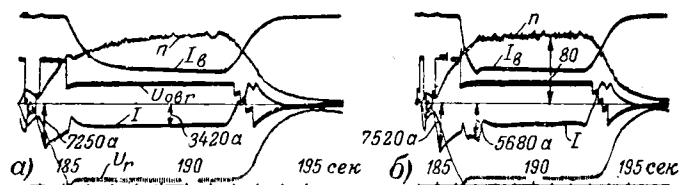


Рис. 7. Осциллограммы переходных процессов двигателя блюминга для существующей схемы ослабления потока (а) и для предложенной параметрической схемы (б).

возбудителя можно влиять на наклон кривой тока, меняя в то же время сравнительно мало (при небольших изменениях E_{en}) максимальный пик тока.

Для любого момента сопротивления прокатки можно подобрать указанные параметры таким образом, чтобы получить оптимальную форму тока двигателя при ослаблении потока.

Согласно данным экспериментальных исследований ускорение двигателя при ослаблении потока вхолостую для новой параметрической схемы при $R=0,915$ ом и $E_{en}=200$ в равно 21,2 об/мин сек при пике тока 36,5% от номинального, в то время как в применяющейся схеме ускорение составляет 6...8 об/мин сек, т. е. в три раза меньше.

На рис. 7 представлены осциллограммы переходных процессов тока якоря I , тока возбуждения I_a , скорости n двигателя, напряжения генератора U_g и напряжения U_{ov} на обмотке возбуждения генератора для двигателя 7 000 л. с. блюминга для последнего пропуска прокатки. Осциллограмма а относится к существующей схеме ослабления потока с параметрами $R=0$ и $E_{en}=124$ в, а осциллограмма б — к новой параметрической схеме с оптимальными параметрами $R=0,915$ ом и $E_{en}=200$ в.

В новой параметрической схеме ток двигателя во время ослабления потока остается почти постоянным и довольно значительным, поэтому ускорение двигателя при новой схеме в 2,5...3 раза превышает ускорение в существующей. Это сокращает время прокатки.

Сопоставляя расчетные и экспериментальные значения μ_{fn} и δ , а также R_s и E_s для

двигателей 7 000 л. с., 50/120 об/мин, 750 в и 475 л. с., 150/300 об/мин, 220 в, получим расхождение между ними 10...50%.

Приведенная выше методика определения оптимальных параметров μ_{fn} и $T_s(\delta)$ может быть применена и для двухступенчатой схемы возбуждения двигателя с ненасыщенным возбудителем, имеющим две обмотки возбуждения: независимую и дифференциальную.

Выводы. 1. Оптимальная форма кривой тока двигателя при ослаблении его потока может быть получена в схемах релейно-контакторного управления, в которых переходный процесс тока возбуждения двигателя описывается уравнением с экспоненциальной зависимостью.

2. Желаемую оптимальную форму тока можно получить путем выбора оптимальных значений предельного потока μ_{fn} и постоянной времени T_s цепи возбуждения двигателя.

3. Для холостого хода существует одно определенное независимо от величины T_s значение μ_{fn} , при котором ток двигателя в процессе ослабления потока остается практически постоянным. При значениях μ_{fn} , меньших этой величины, ток двигателя возрастает со временем. Наоборот, при μ_{fn} , больших этой величины, ток двигателя падающий.

4. С возрастанием постоянной времени T_s ток двигателя уменьшается.

5. На базе теоретическо-экспериментальных исследований предложена новая параметрическая схема ослабления потока двигателя (с релейно-контакторным управлением), позволяющая повысить в 2,5...3 раза его ускорение. Эта схема внедрена в электроприводы двух работающих блюмингов.

Литература

1. В. П. Никитин и Н. П. Куницкий. Оптимальная форма изменения потока шунтового двигателя постоянного тока при регулировании скорости выше основной. Известия АН СССР, ОТН, № 9, 1948.

2. В. П. Никитин и Н. П. Куницкий. Переходные процессы электропривода постоянного тока при ослаблении потока двигателя. Известия АН СССР, ОТН, № 6, 1948.

[26. 12. 1951]



Обобщенные векторы, реактивности и потокосцепления синхронной машины

Кандидат техн. наук, доц. М. И. АЛЫБЕВ

Ленинград

За последние два десятилетия математическая теория синхронной машины с применением операционного исчисления получила большое развитие в нашей литературе благодаря трудам А. А. Горева, Д. А. Городского, А. Г. Иосифьяна, М. П. Костенко, Е. Я. Казовского, Р. А. Лютера и др. Однако среди широкого круга инженеров и в учебной литературе ни сама теория, ни работы, основанные на ней, не получили до сих пор заслуженного распространения. Одна из причин этого, по нашему мнению, заключается в том, что в руководящих работах на эту тему недостаточно просто и доступно излагались основы самой теории. В этой работе дается более простое изложение основ математической теории синхронной машины.

Положительные направления осей и величин. Направление фазных токов от концов фаз к началам считаем положительными (рис. 1). При протекании по фазам положительных токов направления a , b и c осей их н. с. положительны. Направление вращения ротора против

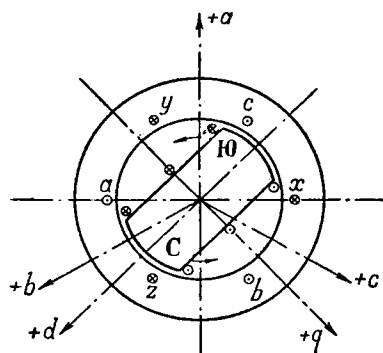


Рис. 1. Положительные направления осей и токов.

часовой стрелки положительно. Положительное направление продольной оси ротора d совпадает с направлением оси н. с. обмотки возбуждения. Положительное направление поперечной оси ротора q опережает положительное направление оси d на 90° . Следуя М. П. Костенко, проекции векторов токов и н. с. на оси ротора и оси фаз будем считать положительными в тех случаях, когда они совпадают с положительными направлениями этих осей.

Сделана попытка более простого и доступного изложения основ математической теории синхронной машины. Изложены геометрическое и физическое понятия об обобщенных векторах фазных токов, н. с. и потокосцеплений синхронной машины. На основе одного и того же определения выведены формулы для реактивностей синхронной машины в установившихся и переходных режимах. Показан ряд соотношений между реактивностями в физических единицах и даны формулы для фазных потокосцеплений.

Все рассуждения в данной работе ведутся применительно к так называемой „идеальной“ синхронной машине, в которой: отсутствуют насыщение и гистерезис, распределение н. с. обмоток по окружности статора синусоидально,

а реактивности рассеяния обмоток машины не зависят от положения ротора. Таким образом, в идеальной синхронной машине: 1) характеристика холостого хода прямая линия, 2) н. с. и потоки, созданные этими н. с., совпадают по фазе; 3) можно применять метод наложения.

Обобщенные или изображающие векторы. При любой нагрузке статора изобразим положительные мгновенные значения синусоидальных фазных токов I_a , I_b и I_c векторами, направленными по осям a , b и c соответствующих фаз (рис. 2). Проектируя эти векторы на продольную и поперечную оси ротора, суммируя эти проекции и обозначая две трети суммы

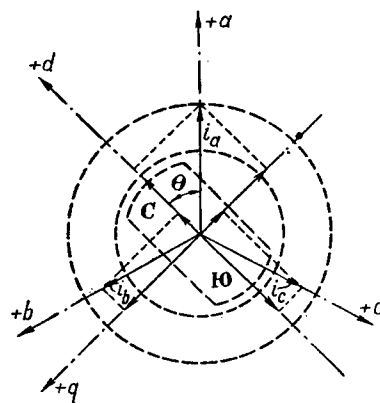


Рис. 2. Векторы фазных токов и их составляющие.

этих проекций на продольную ось I_{md} , а на поперечную I_{mq} , получим:

$$I_{md} = \frac{2}{3} [I_a \cos \Theta + I_b \cos (\Theta - 120) + I_c \cos (\Theta + 120)], \quad (1)$$

$$I_{mq} = -\frac{2}{3} [I_a \sin \Theta + I_b \sin (\Theta - 120) + I_c \sin (\Theta + 120)]. \quad (2)$$

Здесь $\frac{2}{3}$ введено для того, чтобы, как это будет показано ниже, в случае симметричной нагрузки вектор \vec{I}_m , проекции которого на оси d и q есть соответственно I_{md} и I_{mq} , равнялся бы амплитуде фазного тока, а не $\frac{3}{2}$ ее, и суммы проекций I_{md} и I_{mq} на оси фаз при этом равнялись бы мгновенным значениям фазных токов, а не $\frac{3}{2}$ их.

Θ — угол между осью фазы a и осью ротора d в электрических градусах.

Пусть при разложении несимметричной системы токов статора имеются симметричные составляющие фазных токов прямой I_{a1}, I_{b1}, I_{c1} , обратной I_{a2}, I_{b2}, I_{c2} и нулевой I_0 последовательностей. Выразив мгновенные значения действительных фазных токов I_a, I_b и I_c через их симметричные составляющие, т. е. положив в (1) и (2)

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{a1} + I_{a2} + I_0, \\ I_b &= I_{b1} + I_{b2} + I_0, \\ I_c &= I_{c1} + I_{c2} + I_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

и обозначив

$$\left. \begin{aligned} I_{md1} &= \frac{2}{3} [I_{a1} \cos \Theta + I_{b1} \cos (\Theta - 120) + I_{c1} \cos (\Theta + 120)], \\ I_{md2} &= \frac{2}{3} [I_{a2} \cos \Theta + I_{b2} \cos (\Theta - 120) + I_{c2} \cos (\Theta + 120)], \\ I_{md0} &= \frac{2}{3} I_0 [\cos \Theta + \cos (\Theta - 120) + \cos (\Theta + 120)] = 0, \\ I_{mq1} &= -\frac{2}{3} [I_{a1} \sin \Theta + I_{b1} \sin (\Theta - 120) + I_{c1} \sin (\Theta + 120)], \\ I_{mq2} &= -\frac{2}{3} [I_{a2} \sin \Theta + I_{b2} \sin (\Theta - 120) + I_{c2} \sin (\Theta + 120)], \\ I_{mq0} &= -\frac{2}{3} I_0 [\sin \Theta + \sin (\Theta - 120) + \sin (\Theta + 120)] = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

перепишем уравнения (1) и (2) в виде:

$$\left. \begin{aligned} I_{md} &= I_{md1} + I_{md2}, \\ I_{mq} &= I_{mq1} + I_{mq2}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Из последних уравнений следует, что токи I_{md} и I_{mq} состоят каждый не больше, чем из двух составляющих, созданных токами прямой и обратной последовательностей. Токи же нулевой последовательности ни продольной, ни поперечной составляющих не создают.

Пусть мгновенные значения токов прямой и обратной последовательностей фазы a соответственно равны:

$$\left. \begin{aligned} I_{a1} &= I_{m1} \cos (\omega t_c - \varphi_1), \\ I_{a2} &= I_{m2} \cos (\omega t_c - \varphi_2), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где I_{m1}, I_{m2} — амплитуды токов;

φ_1, φ_2 — начальные фазы токов;

t_c — время в секундах;

ω — угловая скорость.

Аналогичные выражения имеют и токи фаз b и c .

Подставив выражения вида (7) для токов в (4) и (5), получим:

$$\left. \begin{aligned} I_{md1} &= I_{m1} \cos (\omega t_c - \varphi_1 - \Theta), \\ I_{mq1} &= I_{m1} \sin (\omega t_c - \varphi_1 - \Theta), \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} I_{md2} &= I_{m2} \cos (\omega t_c - \varphi_2 + \Theta), \\ I_{mq2} &= -I_{m2} \sin (\omega t_c - \varphi_2 + \Theta). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Если ротор вращается с синхронной скоростью

$$\Theta = \omega t_c + \Theta_0,$$

где Θ_0 — значение угла Θ в начальный момент, то (8) и (9) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} I_{md1} &= I_{m1} \cos (\varphi_1 + \Theta_0), \\ I_{mq1} &= -I_{m1} \sin (\varphi_1 + \Theta_0), \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} I_{md2} &= I_{m2} \cos (2\omega t_c - \varphi_2 + \Theta_0), \\ I_{mq2} &= -I_{m2} \sin (2\omega t_c - \varphi_2 + \Theta_0). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Из (10) следует, что при установившейся нагрузке и синхронном вращении ротора I_{md1} и I_{mq1} являются постоянными величинами.

Вектор, проекции которого на оси d и q равны соответственно I_{md1} и I_{mq1} , будем называть обобщенным или, следуя А. А. Гореву, изображающим вектором прямой последовательности и обозначать \vec{I}_{m1} (рис. 3).

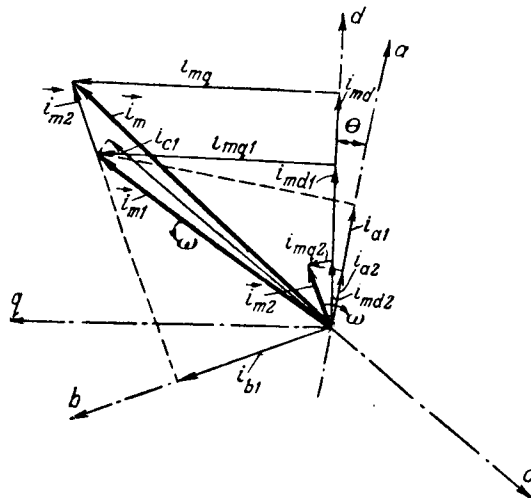


Рис. 3. Обобщенные векторы токов и их составляющие.

Длина этого вектора с учетом (8)

$$|\vec{I}_m| = \sqrt{I_{md1}^2 + I_{mq1}^2} = I_{m1}, \quad (12)$$

т. е. амплитуде тока прямой последовательности.

При симметричной установившейся нагрузке и синхронном вращении ротора I_{md1} и I_{mq1} будут равны соответственно амплитудам I_{md} и I_{mq} продольного и поперечного токов статора

$$\left. \begin{aligned} I_{md1} &= I_{md} = -I_m \sin \psi, \\ I_{mq1} &= I_{mq} = -I_m \cos \psi, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где I_m — амплитуда установившегося фазного тока;

ψ — угол между током и э. д. с. в статоре.

Проекция обобщенного вектора \vec{I}_{m1} на ось фазы a равна сумме проекций на ту же ось его составляющих I_{md1} и I_{mq1} , следовательно, учитывая рис. 3 и формулы (8) и (7), можно написать:

$$\begin{aligned} I_{md1} \cos \Theta - I_{mq1} \sin \Theta &= I_{m1} \cos(\omega t_c - \varphi_1 - \Theta) \times \\ &\times \cos \Theta - I_{m1} \sin \Theta \sin(\omega t_c - \varphi_1 - \Theta) = \\ &= I_{m1} \cos(\omega t_c - \varphi_1) = I_{a1}. \end{aligned} \quad (14)$$

Аналогичным образом можно доказать, что проекции обобщенного вектора \vec{I}_{m1} на оси фаз b и c равны мгновенным значениям токов этих фаз:

$$I_{md1} \cos(\Theta - 120) - I_{mq1} \sin(\Theta - 120) = I_{b1}, \quad (15)$$

$$I_{md1} \cos(\Theta + 120) - I_{mq1} \sin(\Theta + 120) = I_{c1}. \quad (16)$$

Разложение вектора \vec{I}_{m1} на два вектора I_{md1} и I_{mq1} равносильно разложению трехфазной системы токов прямой последовательности на две системы, фазные токи которых достигают максимального значения при совпадении осей фаз соответственно в одной системе с продольной, а в другой с поперечной осями ротора.

Вектор, проекции которого на оси d и q равны соответственно I_{md2} и I_{mq2} , будем называть обобщенным вектором обратной последовательности и обозначать \vec{I}_{m2} . Нетрудно доказать, что проекции \vec{I}_{m2} на оси фаз равны мгновенным значениям фазных токов обратной последовательности:

$$I_{a2} = I_{md2} \cos \Theta - I_{mq2} \sin \Theta \text{ и т. д.} \quad (17)$$

Складывая последнее уравнение с (14) и учитывая (6) и (3), получим для мгновенного значения тока фазы a выражение

$$I_a = I_{md} \cos \Theta - I_{mq} \sin \Theta + I_0. \quad (18)$$

Аналогичные выражения можно получить и для мгновенных значений токов в фазах b и c :

$$\left. \begin{aligned} I_b &= I_{md} \cos(\Theta - 120) - I_{mq} \sin(\Theta - 120) + I_0, \\ I_c &= I_{md} \cos(\Theta + 120) - I_{mq} \sin(\Theta + 120) + I_0. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Анализируя уравнения (8)...(17), можно доказать, что обобщенный вектор прямой последовательности \vec{I}_{m1} вращается с синхронной скоростью в положительном направлении, а обобщенный вектор \vec{I}_{m2} обратной последовательности с той же скоростью в отрицательном направлении.

Вектор, проекции которого на оси ротора равны соответственно I_{md} и I_{mq} , будем называть обобщенным или изображающим вектором тока статора и обозначать \vec{I}_m . Из рис. 3 и формул (6), (8) и (9) следует, что длина вектора

$$|\vec{I}_m| = \sqrt{I_{m1}^2 + I_{m2}^2 + 2I_{m1}I_{m2}\cos(2\omega t_c - \varphi_1 - \varphi_2)}.$$

Из последнего выражения видно, что при установившейся симметричной нагрузке величина $|\vec{I}_m|$ остается неизменной, а при несимметричной нагрузке и синхронном вращении ротора пульсирует с двойной частотой.

Можно доказать, что при несимметричной нагрузке конец \vec{I}_m описывает эллипс и скорость вращения \vec{I}_m не остается постоянной, а имеет максимальное значение, когда \vec{I}_m совпадает с малой осью эллипса, и минимальное значение, когда \vec{I}_m совпадает с большой осью эллипса. Из (18) и (19) следует, что проекции вектора \vec{I}_m на оси фаз меньше мгновенных значений фазных токов на величину тока нулевой последовательности.

Все, что говорилось в этом параграфе об обобщенных векторах тока, может быть повторено и об обобщенных векторах напряжений, э. д. с., н. с. и потокосцеплений.

Так, аналогично (1) продольная составляющая $f_{\phi md}$ обобщенного вектора $\vec{f}_{\phi m}$ фазных н. с.

$$\begin{aligned} f_{\phi md} &= \frac{2}{3} [f_{\phi a} \cos \Theta + f_{\phi b} \cos(\Theta - 120) + \\ &+ f_{\phi c} \cos(\Theta + 120)]. \end{aligned} \quad (20)$$

В этой формуле мгновенные значения фазных н. с.

$$f_{\phi} = k\omega I_{\phi}, \quad (21)$$

где I_{ϕ} — мгновенное значение фазного тока;
 ω — эффективное число витков фазы;
 k — коэффициент пропорциональности.

Из (20) и (21)

$$\begin{aligned} f_{\phi md} &= \frac{2}{3} k\omega [I_a \cos \Theta + I_b \cos(\Theta - 120) + \\ &+ I_c \cos(\Theta + 120)] \end{aligned} \quad (22)$$

или согласно (1)

$$f_{\phi md} = k\omega I_{md}. \quad (23)$$

Аналогично для поперечной оси

$$f_{\phi mq} = k\omega I_{mq}. \quad (24)$$

Обобщенный вектор $\vec{f}_{\phi m}$ фазных н. с. и его проекции $f_{\phi md}$ и $f_{\phi mq}$ не следует смешивать соответственно с пространственной амплитудой н. с. трех фаз статора \vec{f}_a и ее проекциями f_{ad} и f_{aq} . Между этими величинами имеются следующие соотношения:

$$\left. \begin{aligned} \vec{f}_a &= \frac{3}{2} \vec{f}_{\phi m}, \\ f_{ad} &= \frac{3}{2} f_{\phi md} = \frac{3}{2} k\omega I_{md}, \\ f_{aq} &= \frac{3}{2} f_{\phi mq} = \frac{3}{2} k\omega I_{mq}. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Аналогично (18), потокосцепления фазы a

$$\Psi_a = \Psi_{md} \cos \Theta - \Psi_{mq} \sin \Theta + \Psi_0, \quad (26)$$

где Ψ_{md} , Ψ_{mq} — продольная и поперечная составляющие обобщенного вектора фазных потокосцеплений.

При $\Theta = 0$ и 90° С имеем соответственно

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{a\Theta=0} &= \Psi_{md} + \Psi_0, \\ \Psi_{a\Theta=90} &= \Psi_{mq} + \Psi_0. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Следовательно, в моменты совпадения продольной и поперечной осей ротора с осью фазы и при отсутствии в статоре токов нулевой последовательности потокосцепления фазы равны соответственно Ψ_{md} и Ψ_{mq} .

Понятие „реактивность“. Дадим определение понятия реактивности обмотки синхронной машины, одинаково пригодное для реактивностей самоиндукции и взаимной индукции в установившихся и переходных режимах.

Под реактивностью X обмотки будем понимать отношение произведения угловой скорости ω_c на приращение потокосцеплений $\Delta\Psi$ этой обмотки к тому приращению ΔI тока этой или другой обмотки, которое вызвало $\Delta\Psi$:

$$X = \omega_c \frac{\Delta\Psi}{\Delta I} 10^{-8}. \quad (28)$$

Реактивности в установившихся режимах. Формулы для реактивностей обмоток в установившихся режимах можно получить, исходя из определения (28), если считать, что в синхронной машине при переходе из одного установившегося режима в другой (реальный или только теоретически мыслимый) токи и н. с. во всех обмотках за исключением одной остаются неизменными. При этом получают приращение только ток и н. с. той обмотки, реактивность самоиндукции которой мы хотим определить, или ток и н. с. той обмотки, формулы для реактивностей взаимной индукции с остальными обмотками мы хотим написать. Приращение потокосцеплений при этом вычисляется по формуле

$$\Delta\Psi = \omega \Delta f \lambda, \quad (29)$$

где ω — эффективное число витков обмотки, реактивность которой определяется.

При определении реактивностей самоиндукции Δf — есть приращение н. с., а λ — магнитная проводимость (для всего или части) потока самой обмотки. При определении же реактивностей взаимной индукции Δf — приращение н. с., а λ — магнитная проводимость для потока взаимной индукции той обмотки, формулу для реактивности взаимной индукции с которой требуется написать.

Если продольная и поперечная составляющие обобщенного вектора тока статора и ток в j -той обмотке ротора получают приращения соответственно ΔI_{md1} , ΔI_{mq1} и ΔI_j , то соответствующие приращения н. с. будут:

$$\left. \begin{aligned} \Delta f_{ad} &= \frac{3}{2} k\omega \Delta I_{md1}, \\ \Delta f_{aq} &= \frac{3}{2} k\omega \Delta I_{mq1}, \\ \Delta f_j &= k\omega_j \Delta I_j, \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

где ω_j — число витков j -той обмотки ротора.

Подставляя (29) и (30) в (28), получим следующие формулы для реактивностей синхронной машины в установившихся режимах в физических единицах.

Синхронные реактивности обмотки статора по продольной и поперечной осям

$$\left. \begin{aligned} X_d &= \omega_c \frac{3}{2} k\omega^2 \lambda_d \cdot 10^{-8}, \\ X_q &= \omega_c \frac{3}{2} k\omega^2 \lambda_q \cdot 10^{-8}, \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

где λ_d , λ_q — полные магнитные проводимости для потоков статора соответственно по продольной и поперечной осям.

Реактивности реакции якоря по продольной и поперечной осям

$$\left. \begin{aligned} X_{ad} &= \omega_c \frac{3}{2} k\omega^2 \lambda_{md} 10^{-8} = X_{amd}, \\ X_{aq} &= \omega_c \frac{3}{2} k\omega^2 \lambda_{mq} \cdot 10^{-8} = X_{amq}, \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

где λ_{md} , λ_{mq} — магнитные проводимости для потока реакции якоря соответственно по продольной и поперечной осям.

Реактивность рассеяния обмотки статора

$$X_s = \omega_c \frac{3}{2} k\omega^2 \lambda_s \cdot 10^{-8}, \quad (33)$$

где λ_s — проводимость для потока рассеяния обмотки статора.

Реактивности j -той обмотки ротора: полная, рассеяния и соответствующая магнитной проводимости λ_m соответственно равны:

$$X_{jj} = \omega_c k\omega_j^2 \lambda_j 10^{-8}, \quad (34)$$

$$X_{js} = \omega_c k\omega_j^2 \lambda_{js} \cdot 10^{-8}, \quad (35)$$

$$X_{jm} = \omega_c k\omega_j^2 \lambda_m \cdot 10^{-8}; \quad (36)$$

здесь λ_j , λ_{js} , λ_m — магнитные проводимости для потоков j -той обмотки ротора соответственно полного, рассеяния и взаимной индукции, подсчи-

танные таким образом, чтобы эффективные числа витков w_j и коэффициенты k для этих трех потоков были бы одинаковы.

Реактивность взаимной индукции фазы статора с j -той обмоткой ротора при совпадении их осей

$$X_{aj} = \omega_c k w w_j \lambda_m \cdot 10^{-8}. \quad (37)$$

Реактивность взаимной индукции j -той обмотки ротора с обмоткой статора

$$X_{ja} = \omega_c \frac{3}{2} k w w_j \lambda_m \cdot 10^{-8}. \quad (38)$$

Реактивность взаимной индукции j -той обмотки ротора с обмоткой ротора i

$$X_{ji} = \omega_c k w w_i \lambda_m \cdot 10^{-8}. \quad (39)$$

Реактивность нулевой последовательности

$$X_0 = \omega_c k w^2 \lambda_0 \cdot 10^{-8},$$

где λ_0 — магнитная проводимость для потока нулевой последовательности.

Соотношения между реактивностями установившихся режимов. Из (39) следует, что

$$X_{ji} = X_{ij}, \quad (40)$$

$$X_{ij} \cdot X_{ji} = X_{ij}^2 = X_{ji}^2. \quad (41)$$

Согласно (39) и (36)

$$X_{ij} X_{ji} = X_{im} X_{jm}. \quad (42)$$

Из (37) и (38)

$$X_{ja} = \frac{3}{2} X_{aj} \quad (43)$$

и

$$X_{ja} X_{aj} = \frac{3}{2} X_{aj}^2 = \frac{2}{3} X_{ja}^2. \quad (44)$$

X_{aj} и X_{ja} отличаются друг от друга потому, что X_{aj} определяется взаимной индукцией j -той обмотки ротора на одну фазу статора (при совпадении их осей), а X_{ja} — взаимной индукцией на j -тую обмотку ротора трех фаз статора.

Из (36)... (38) и (32)

$$X_{jad} X_{ajd} = X_{jmd} X_{ad}. \quad (45)$$

Из (38), (36) и (32)

$$X_{jad} = \frac{3}{2} X_{jmd} X_{ad}. \quad (46)$$

Из (37), (39) и (36)

$$X_{ai} X_{ji} = X_{ai} X_{ij} = X_{aj} X_{im}. \quad (47)$$

Из (37)... (39) и (32)

$$X_{ajd} X_{iad} = X_{jid} X_{ad}. \quad (48)$$

Из (36)... (39) и (32)

$$X_{aid} X_{iad} X_{ijd} = X_{jmd} X_{imd} X_{ad}. \quad (49)$$

Реактивности обмотки статора в переходных режимах. Реактивности синхронной машины в установившихся и переходных режимах, как известно, неодинаковы. Причина различия в величинах реактивностей обмоток статора в установившихся и переходных режимах заклю-

чается в том, что при внезапном приращении тока в статоре возрастает реакция якоря, которая стремится изменить потоки, сцепляющиеся с роторными цепями. В замкнутых роторных цепях при этом будут индуцироваться свободные затухающие токи, которые стремятся поддержать потокосцепления роторных цепей постоянными. С изменением величины свободных токов изменяются н. с., ими создаваемые, и отношение приращения потокосцеплений к приращению тока статора $\frac{\Delta \Psi}{\Delta I}$, а следовательно, и реактивность обмотки статора.

В настоящее время принято рассматривать три значения $\frac{\Delta \Psi}{\Delta I}$ и три реактивности статора — прямой последовательности по каждой оси — синхронную, переходную и сверхпереходную.

Переходные реактивности. Под переходной реактивностью понимается реактивность обмотки статора в начальный момент внезапного приращения тока прямой последовательности в статоре машины, не имеющей дополнительных цепей на роторе. При этом согласно (27) в моменты совпадения осей ротора с осью фазы потокосцепления этой фазы и обмотки возбуждения будут:

$$\Psi_{md} = (X_{af} I_f + X_d I_{md1}) \frac{10^8}{\omega_c}, \quad (50)$$

$$\Psi_f = (X_{ff} I_f + X_{fa} I_{md1}) \frac{10^8}{\omega_c}, \quad (51)$$

$$\Psi_{mq} = X_q I_{mq1} \frac{10^8}{\omega_c}. \quad (52)$$

При внезапном приращении продольной и поперечной составляющих тока на величины соответственно $\Delta I'_{md1}$ и $\Delta I'_{mq1}$ получают приращение и потокосцепления обмотки статора соответственно на величины $\Delta \Psi'_{md}$ и $\Delta \Psi'_{mq}$.

Замкнутая на возбудитель обмотка возбуждения, действуя в первый момент нарушения режима как сверхпроводник, практически сохранит свои потокосцепления неизменными за счет возрастания тока возбуждения на величину $\Delta I'_f$. На основании этих рассуждений и формул (50)...(52) для приращений потокосцеплений и токов можно написать:

$$\left. \begin{aligned} \omega_c \Delta \Psi'_{md} \cdot 10^{-8} &= X_{af} \Delta I'_f + X_d \Delta I'_{md1}, \\ 0 &= X_{ff} \Delta I'_f + X_{fa} \Delta I'_{md1}, \end{aligned} \right\} \quad (53)$$

$$\omega_c \Delta \Psi'_{mq} \cdot 10^{-8} = \Delta I'_{mq1} X_q. \quad (54)$$

Исключив из (53) $\Delta I'_f$, найдем известную формулу для переходной реактивности по продольной оси в физических единицах

$$X'_d = \omega_c \frac{\Delta \Psi'_{md}}{\Delta I'_{md}} 10^{-8} = X_d - \frac{X_{af} X_{fa}}{X_{ff}} \quad (55)$$

или, учитывая (45),

$$X'_d = X_d - \frac{X_{jm}}{X_{ff}} X_{ad}. \quad (56)$$

Из (54) следует, что

$$\omega_c \frac{\Delta \Psi'_{mq}}{\Delta I'_{mq1}} 10^{-8} = X'_q = X_q, \quad (57)$$

т. е. переходная реактивность по поперечной оси равна синхронной.

Сверхпереходные реактивности. При совпадении оси d с осью фазы и прохождении по обмотке статора токов прямой последовательности потокосцепления фазы (27) и обмоток возбуждения и успокоительной соответственно равны:

$$\left. \begin{aligned} \omega_c \Psi_{md} \cdot 10^{-8} &= X_{af} I_f + X_{ad} I_{1d} + X_d I_{md1}, \\ \omega_c \Psi_f \cdot 10^{-8} &= X_{ff} I_f + X_{f1} I_{1d} + X_{fa} I_{md1}, \\ \omega_c \Psi_{1d} \cdot 10^{-8} &= X_{1f} I_f + X_{11d} I_{1d} + X_{1ad} I_{md1}. \end{aligned} \right\} \quad (58)$$

При совпадении оси q с осью фазы потокосцепления фазы и успокоительной обмотки по поперечной оси будут:

$$\left. \begin{aligned} \omega_c \Psi_{mq} \cdot 10^{-8} &= X_{aq} I_{1q} + X_q I_{mq1}, \\ \omega_c \Psi_{1q} \cdot 10^{-8} &= X_{11q} I_{1q} + X_{1aq} I_{mq1}. \end{aligned} \right\} \quad (59)$$

При внезапном приращении тока в статоре потокосцепления обмотки статора по продольной и поперечной осям получают приращения, соответственно равные $\Delta \Psi''_{md}$ и $\Delta \Psi''_{mq}$, обмотки же возбуждения и успокоительная, действуя подобно сверхпроводящим контурам, в первый момент нарушения режима сохраняют свои потокосцепления неизменными, т. е. приращения потокосцеплений для обмоток возбуждения и успокоительной в начальный момент можно считать равными нулю.

Обмотки возбуждения и успокоительные сохраняют неизменными потокосцепления в начальный момент нарушения режима за счет приращения токов в этих обмотках на величины, соответственно равные

$$\Delta I''_f, \Delta I''_{1d}, \Delta I''_{1q}.$$

Учитывая все вышеизложенное и системы (58) и (59), для приращений потокосцеплений обмоток синхронной машины в начальный момент внезапного изменения нагрузки напишем уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \Psi''_{md} \omega_c \cdot 10^{-8} &= X_{af} \Delta I''_f + X_{ad} \Delta I''_{1d} + \\ &+ X_d \Delta I''_{md1}, \\ 0 &= X_{ff} \Delta I''_f + X_{f1} \Delta I''_{1d} + X_{fa} \Delta I''_{md1}, \\ 0 &= X_{1f} \Delta I''_f + X_{11d} \Delta I''_{1d} + X_{1ad} \Delta I''_{md1}, \end{aligned} \right\} \quad (60)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta \Psi''_{mq} \omega_c \cdot 10^{-8} &= X_{aq} \Delta I''_{1q} + X_q \Delta I''_{mq1}, \\ 0 &= X_{11q} \Delta I''_{1q} + X_{1aq} \Delta I''_{mq1}. \end{aligned} \right\} \quad (61)$$

Исключив из системы (60) $\Delta I''_f$ и $\Delta I''_{1d}$ и учитывая (45) и (40), найдем выражение для сверхпереходной реактивности по продольной оси

$$X''_d = \omega_c \frac{\Delta \Psi''_{md}}{\Delta I''_{md1}} 10^{-8} = X_d - \frac{X_{11d} X_{fm} - 2 X_{fm} X_{1md} + X_{ff} X_{1md}}{X_{ff} X_{11d} - X_{fm} X_{1md}} X_{ad}. \quad (62)$$

Исключив из системы (61) $\Delta I''_{1q}$ и учитывая (45), найдем выражение для сверхпереходной реактивности по поперечной оси вида:

$$X''_q = X_q - \frac{X_{aq} X_{1aq}}{X_{11q}} = X_q - \frac{X_{1mq}}{X_{11q}} X_{aq}. \quad (63)$$

Потокосцепления. Суммарные н. с. машины — продольная f_d и поперечная f_q — соответственно равны:

$$\left. \begin{aligned} f_d &= k w_f I_f + \sum_{g=1}^{g=n} k w_{gd} I_{gd} + \frac{3}{2} k w I_{md}, \\ f_q &= \sum_{g=1}^{g=h} k w_{gq} I_{gq} + \frac{3}{2} k w I_{mq}, \end{aligned} \right\} \quad (64)$$

где n, h — числа дополнительных к. з. роторных цепей соответственно по продольной и поперечной осям ротора; w_g — число витков дополнительной роторной цепи g .

Продольная и поперечная н. с. машины создают соответственно продольной Φ_{md} и поперечный Φ_{mq} потоки, сцепленные с обмоткой статора

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{md} &= f_d \lambda_{md} + \frac{3}{2} k w I_{md} \lambda_s, \\ \Phi_{mq} &= f_q \lambda_{mq} + \frac{3}{2} k w I_{mq} \lambda_s. \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

Потокосцепления фазы a с продольным и поперечным потоками

$$\Psi_{adq} = w \Phi_{md} \cos \Theta - w \Phi_{mq} \sin \Theta. \quad (66)$$

При наличии токов нулевой последовательности I_0 потокосцепления фазы будут иметь еще составляющую

$$\Psi_0 = X_0 I_0 \frac{10^8}{\omega_c}. \quad (67)$$

Полные потокосцепления фазы a

$$\Psi_a = \Psi_{adq} + \Psi_0.$$

Подставляя сюда (64)...(67), а затем (37) и (31), получим:

$$\begin{aligned} \Psi_a &= \{ (X_{af} I_f + \sum_{g=1}^{g=n} X_{agd} I_{gd}) \cos \Theta - \\ &- \sum_{g=1}^{g=h} X_{agq} I_{gq} \sin \Theta + X_d I_{md} \cos \Theta - \\ &- X_q I_{mq} \sin \Theta + X_0 I_0 \} \frac{10^8}{\omega_c}. \end{aligned} \quad (68)$$

В установившемся симметричном режиме при синхронном вращении ротора

$$I_{gd} = I_{gq} = I_2 = I_0 = 0, \quad I_{md} = I_{md1} \text{ и } I_{mq} = I_{mq1}.$$

Подставив последние выражения и формулы (10) в (68), получим:

$$\Psi_a = \left[X_{af} I_f \cos \Theta + \frac{X_d + X_q}{2} I_{a1} + \frac{X_d - X_q}{2} I_{m1} \cos (\omega t_c + \varphi_1 + 2\Theta_0) \right] \frac{10^8}{\omega_c}. \quad (69)$$

В общем случае переходного несимметричного режима синхронной машины с успокоительной обмоткой, подставив формулы (6), (8) и (9) в (68) и считая, что токи двойной частоты, индуцируемые в обмотках ротора обратнo-синхронным полем практически вытесняют его на пути рассеяния, получим формулу для потокосцеплений вида:

$$\begin{aligned} \Psi_a = & [(X_{af} I_{f0} + \Delta I'_f) + \sum_{g=1}^{g=h} X_{agd} I_{gd}] \cos \Theta - \\ & - \sum_{g=1}^{g=h} X_{agq} I_{gq} \sin \Theta + \\ & + \frac{X_d + X_q}{2} I_{m1} \cos (\omega t_c - \varphi_1 - 2\Theta) + \frac{X'_d + X'_q}{2} I_{a2} + \\ & + \frac{X'_d - X'_q}{2} I_{m2} \cos (\omega t_c - \varphi_2 + 2\Theta) + X_{0f0} \frac{10^8}{\omega_c}, \quad (70) \end{aligned}$$

где I_{f0} , $\Delta I'_f$ — установившийся и свободный токи в обмотке возбуждения.

Формулы для потокосцеплений фаз b и c можно получить из (68)...(70), заменив в них индекс a на индексы b и c и взяв углы у косинусов и синусов соответственно меньше и больше на 120° .

Следует отметить, что в этих формулах $\Delta I'_f$, I_{gd} и I_{gq} есть свободные токи в обмотках возбуждения и успокоительных по продольной и поперечной осям ротора, индуцируемые потоком реакции якоря прямой последовательности. При синхронном вращении ротора и медленном изменении амплитуд токов прямой последовательности эти свободные токи можно считать равными нулю.

Свободные же токи, индуцируемые в обмотках ротора обратнo-синхронным полем, приближенно учтены при наличии мощной успокоительной системы введением в формулы сверхпереходных реактивностей X'_d и X'_q , а при отсутствии успокоительной обмотки — переходных реактивностей X'_d и X'_q .

Если поле реакции якоря от токов прямой последовательности изменяется или перемещается относительно обмоток ротора настолько быстро, что размагничивающее действие свободных токов полное, то в вышеприведенных формулах можно с достаточной для практики точностью положить свободные токи в обмотках ротора равными нулю, учтя их введением в уравнения (68) и (70) вместо синхронных реактивностей X_d и X_q сверхпереходные реактивности X'_d и X'_q или при практическом затухании

сверхпереходных токов, или отсутствии успокоительной обмотки переходные реактивности X'_d и X'_q .

Из (68) можно получить и формулу Р. Г. Парка [Л. 4] для потокосцеплений.

Для этого напишем чисто алгебраические равенства:

$$\left. \begin{aligned} X_d &= \frac{X_d + X_q}{2} + \frac{X_d - X_q}{2}, \\ X_q &= \frac{X_d + X_q}{2} - \frac{X_d - X_q}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (71)$$

Потокосцепления фазы с потоком статора

$$\Psi_{aa} = (X_d I_{md} \cos \Theta - X_q I_{mq} \sin \Theta) \frac{10^8}{\omega_c} \quad (72)$$

или, используя равенства (71),

$$\begin{aligned} \Psi_{aa} = & \left[\frac{X_d + X_q}{2} (I_{md} \cos \Theta - I_{mq} \sin \Theta) + \right. \\ & \left. + \frac{X_d - X_q}{2} (I_{md} \cos \Theta + I_{mq} \sin \Theta) \right] \frac{10^8}{\omega_c}. \quad (73) \end{aligned}$$

Подставив сюда (1) и (2) и произведя тригонометрические преобразования, получим:

$$\begin{aligned} \Psi_{aa} = & \left\{ \frac{X_d + X_q}{3} \left(I_a - \frac{I_b + I_c}{2} \right) + \right. \\ & + \frac{X_d - X_q}{3} [I_a \cos 2\Theta + I_b \cos (2\Theta - 120) + \\ & \left. + I_c \cos (2\Theta + 120)] \right\} \frac{10^8}{\omega_c}. \quad (74) \end{aligned}$$

Подставив (72) и последнее выражение в (68), получим формулу Р. Г. Парка для потокосцеплений фазы a в физических единицах:

$$\begin{aligned} \Psi_a = & (X_{af} I_f + \sum_{g=1}^{g=h} X_{agd} I_{gd}) \times \\ & \times \cos \Theta - \sum_{g=1}^{g=h} X_{agq} I_{gq} \sin \Theta + \\ & + \frac{X_d + X_q}{3} \left(I_a - \frac{I_b + I_c}{2} \right) + \\ & + \frac{X_d - X_q}{3} [I_a \cos 2\Theta + I_b \cos (2\Theta - 120) + \\ & + I_c \cos (2\Theta + 120) + \frac{X_0}{3} (I_a + I_b + I_c)] \frac{10^8}{\omega_c}. \quad (75) \end{aligned}$$

Литература

1. Р. А. Лютер. Теория переходных режимов синхронных машин. Изд. Ленинградского Энергомашиностроительного ин-та ИТР, 1939.
2. М. П. Костенко. Электрические машины. Спец. часть. Госэнергоиздат, 1949.
3. А. А. Горев. Переходные процессы синхронной машины. Госэнергоиздат, 1950.
4. R. H. Park. Definition of an Ideal Synchronous Machines and Formula for the Armature Flux Linkages. GER, Vol. 31, p. 332, June 1928.
5. R. H. Park and R. L. Robertson. The Reactions of Synchronous Machines. Trans. AIEE, Vol. 47, p. 514, Febr. 1928.
6. R. H. Park. Two-reaction Theory of Synchronous Machines. Trans. AIEE, Part. Vol. 48, p. 716, 1929.

[19. 7. 1952]



К вопросу об общей теории электрического вала

Инж. И. И. ТРЕЩЕВ

Ленинград

Система синхронного вращения двух или нескольких асинхронных двигателей — электрический вал — получила значительное распространение на практике и ее исследованию посвящен ряд работ.

В основу общей теории электрического вала

обычно кладется искусственный прием, основанный на том предположении, что асинхронные двигатели системы питаются от напряжений, различающихся по фазе [Л. 3], или же на том предположении, что токи статора и ротора сдвинуты по фазе, а следовательно, и ток намагничивания [Л. 2]. При этом способе расчета исходной является сеть, составленная из схемы замещения двигателей системы с одинаковыми параметрами. Если следовать этому же методу и для систем, состоящих из двигателей с различными параметрами, то, как это нетрудно показать, потребуются дополнительные предположения в отношении напряжения каждого двигателя.

Указанный прием вносит известное упрощение, но вместе с тем приводит к ряду существенных погрешностей, связанных с тем обстоятельством, что в действительности напряжения всех асинхронных двигателей одинаковы. Погрешности особенно значительны в определении тока намагничивания и моментов машин малой мощности. Как известно, в малых машинах ток намагничивания и активное сопротивление статора относительно велики. Поэтому в них должно быть учтено влияние системы на ток намагничивания и активного сопротивления статора на момент машины.

Предлагаемый в статье путь решения позволяет найти достаточно точные соотношения, не требующие указанных выше предположений.

С целью упрощения решение дается для системы, составленной из одинаковых двигателей. Но тем же путем задача решается и в случае различных двигателей.

Одновременно дается схема замещения асинхронного двигателя, работающего в системе электрического вала.

Основные соотношения для э. д. с. и токов. Пусть роторы n асинхронных двигателей электрически связаны через сопротивление r (рис. 1), а статоры питаются от одной сети с фазным напряжением U . Электродвигатели симметричны

Предлагается новый метод исследования системы электрического вала в общем случае, отличающийся сравнительно большой точностью. Метод пригоден для систем, состоящих из одинаковых и различных двигателей. Показывается целесообразность применения этого метода в особенности для систем, состоящих из машин малой мощности. Находятся выражения для токов и моментов. Предлагается схема замещения для любого асинхронного двигателя системы, в которой учтено влияние системы на его работу.

в электрическом и магнитном отношениях, напряжение сети и токи содержат только первые гармонические прямой последовательности.

Для рассматриваемой этой системы целесообразно ввести коэффициенты трансформации

в виде переменных векторных величин аналогично тому, как это предложил М. П. Костенко [Л. 1].

Введем понятие об условных осях, вращающихся синхронно с роторами системы. Условные оси во всех двигателях одновременно совпадают с осями соответствующих фаз статора. Обозначим угол между условной осью и фазой a v -того

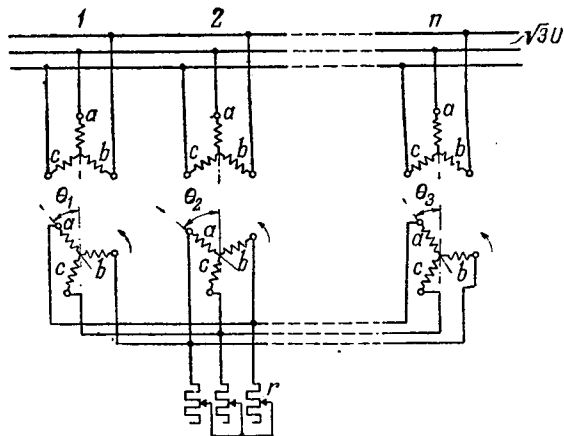


Рис. 1. Схема электрического вала из n машин.

двигателя θ_v и напишем выражения для векторов э. д. с. статора \dot{E}_{1v} и ротора \dot{E}_{2v} этого двигателя:

$$\dot{E}_{1v} = \dot{E}_{2v} = -j\pi \sqrt{2} f \Phi_v \omega_1 k_{w1} \cdot 10^{-8}, \quad (1)$$

$$\dot{E}_{2v} = -j\pi \sqrt{2} f s \Phi_v \omega_2 k_{w2} e^{j\theta_v} \cdot 10^{-8}, \quad (2)$$

где \dot{E}_{2v} — вектор э. д. с. ротора, приведенной к обмотке статора;

f — частота сети;

Φ_v — вектор магнитного потока в зазоре;

ω_1, ω_2 — число витков в фазе статора и ротора;

s — скольжение;

k_{w1}, k_{w2} — обмоточные коэффициенты статора и ротора.

Намагничивающую силу ротора можно выразить как через действительные, так и через приведенные величины:

$$m_2 i_{2v} \omega_2 k_{w2} e^{-j\theta_v} = m_1 i'_{2v} \omega_1 k_{w1}, \quad (3)$$

где i_{2v} — вектор тока ротора;

i'_{2v} — вектор тока ротора, приведенного к статору;

m_1, m_2 — число фаз статора и ротора.

Будем называть отношение $\frac{\dot{E}_{1v}}{E_{2v}} = \frac{\dot{E}'_{2v}}{E_{2v}} = k_{ev}$ коэффициентом трансформации по э. д. с., а отношение $\frac{i_{2v}}{i'_{2v}} = k_{iv}$ — коэффициентом трансформации по току рассматриваемого двигателя. Из последних выражений и формул (1), (2), (3) находим:

$$k_{ev} = k_e e^{-j\theta_v}, \quad (4)$$

$$k_{iv} = k_i e^{j\theta_v}, \quad (5)$$

где ¹

$$k_e = \frac{\omega_1 k_{w1}}{\omega_2 k_{w2}}; \quad k_i = \frac{m_1 \omega_1 k_{w1}}{m_2 \omega_2 k_{w2}}.$$

В приложении определено соотношение между приведенными э. д. с. и током ротора в виде:

$$-i'_{2v} = \frac{-\dot{E}'_{2v}}{k_e k_i} \cdot \frac{1 + \frac{nr}{2Z_2} \left[n - \frac{\sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}}{\dot{E}_{2v}} \right]}{Z_2 + nr}. \quad (6)$$

Если в выражение (6) ввести эквивалентное сопротивление цепи ротора Z'_{o6v} как отношение $\frac{-\dot{E}'_{2v}}{-i'_{2v}} = Z'_{o6v}$, то нетрудно по общеизвестным

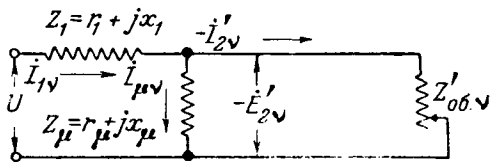


Рис. 2. Схема замещения v -того двигателя, работающего в системе вала.

правилам составить схему замещения для рассматриваемого двигателя (рис. 2).

В схеме

$$Z'_{o6v} = \frac{k_e k_i (Z_2 + nr)}{1 + \frac{nr}{2Z_2} \left[n - \frac{\sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}}{\dot{E}_{2v}} \right]}. \quad (7)$$

¹ При различных машинах в системе для v -той машины вместо k_e и k_i должны быть введены величины

$$k_{ev} = \frac{\omega_1 k_{w1}}{\omega_{2v} k_{w2v} s}; \quad k_{iv} = \frac{m_1 \omega_1 k_{w1}}{m_2 \omega_{2v} k_{w2v} s}.$$

Из рис. 2 и (6), (7) можно найти следующее выражение для э. д. с. ротора двигателя (приложение):

$$\dot{E}_{2v} = -\frac{b}{c} \dot{k}_{iv} + \frac{d}{c} \sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}, \quad (8)$$

где

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{U}{Z_1}; \\ c &= \frac{ck_e k_i}{Z_1} + \frac{1}{Z_2 + nr} \left[1 + \frac{n^2 r}{2Z_2} \right], \\ d &= \frac{nr}{2Z_2 (Z_2 + nr)}; \\ \sigma &= 1 + \frac{Z_1}{Z_\mu}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Составляя для каждого двигателя уравнение типа (8), получим систему из n уравнений. Решая эту систему уравнений относительно $\sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}$ (путем суммирования), находим:

$$\sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l} = -\frac{b}{c - nd} k_i \sum_{l=1}^n e^{j\theta_l}. \quad (10)$$

Из (8) и (10)

$$\dot{E}_{2v} = -\frac{b}{c} k_i \left[e^{j\theta_v} + \frac{d}{c - nd} \sum_{l=1}^n e^{j\theta_l} \right]. \quad (11)$$

Выражение (7) может быть переписано в виде:

$$Z'_{o6v} = \frac{k_e k_i (Z_2 + nr)}{1 + \frac{nr}{2Z_2} [n - \alpha_v]}, \quad (12)$$

где

$$\alpha_v = \frac{c \sum_{l=1}^n e^{j(\theta_l - \theta_v)}}{(c - nd) + d \sum_{l=1}^n e^{j(\theta_l - \theta_v)}}. \quad (13)$$

Таким образом, Z'_{o6v} найдено и все элементы схемы замещения для любого v -того асинхронного двигателя в системе электрического вала (рис. 2) определены. Рабочий ток двигателя

$$-i'_{2v} = \frac{-\dot{E}'_{2v}}{Z'_{o6v}}. \quad (14)$$

Намагничивающий ток

$$i_{\mu v} = \frac{b}{c} \frac{k_e k_i}{Z_\mu} \left[1 + \frac{d}{c - nd} \sum_{l=1}^n e^{j(\theta_l - \theta_v)} \right]. \quad (15)$$

Воздим величину

$$\Delta Z' = Z'_{o6v} - Z'_2 = \frac{\frac{nr'}{s} \left[1 - \frac{n - \alpha_v}{2} \right]}{1 + \frac{nr'}{2Z_2 s} [n - \alpha_v]}, \quad (16)$$

где r' — внешнее сопротивление в цепи роторов, приведенное к статору.

Величина $\Delta Z'$ и представляет ту добавку в контур рабочего тока в схеме замещения данного асинхронного двигателя, которая определяет влияние системы на токи этого двигателя.

Нетрудно видеть из (16), что при $r' = 0$ $\Delta Z'$ будет тоже равно нулю, и схема замещения рис. 2 превращается в схему замещения автономного асинхронного двигателя, так как в этом случае $Z'_{0\delta} = Z'_2$.

Моменты и токи. Пренебрегая потерями в стали, можно определить вращающий момент ν -того двигателя согласно известной формуле¹

$$M_\nu = \frac{m_1}{\omega_c} \left\{ [(-\hat{E}'_{2\nu})(-I'_{2\nu})] \right\}_\delta, \quad (17)$$

где ω_c — синхронная угловая скорость;
 $(-\hat{E}'_{2\nu})$ — комплекс, сопряженный $(-\dot{E}'_{2\nu})$.

Согласно этой формуле и выражениям (4), (9), (11) — (14) в наиболее важном для практики случае, когда двигатели работают в качестве уравнивателей и $r = \infty$, вращающий момент

$$M_\nu = \frac{m_1}{\omega_c} \frac{U^2}{\sigma_1} \frac{\left[n - \sum_{l=1}^n \cos(\theta_l - \theta_\nu) \right] \left[2\sigma_1 \frac{r'_2}{s} + r_1 \sum_{l=1}^n \cos(\theta_l - \theta_\nu) \right] - \sum_{l=1}^n \sin(\theta_l - \theta_\nu) [nx_1 + 2\sigma_1 x'_2 + r_1 \sum_{l=1}^n \sin(\theta_l - \theta_\nu)]}{(nx_1 + 2\sigma_1 x'_2)^2 + \left(nr_1 + 2\sigma_1 \frac{r'_2}{s} \right)^2}, \quad (18)$$

где

$$\sigma_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_\mu}.$$

Как это видно из (18), активное сопротивление статора r_1 оказывает существенное влияние на величину момента асинхронного двигателя, работающего в системе вала. Влияние r_1 резко сказывается с увеличением числа машин в системе и с увеличением рассогласования между роторами.

В случае системы из двух машин ($n = 2$; $\theta_1 - \theta_2 = \theta$)

$$M_{1,2} = \frac{m_1 U^2}{2\sigma_1 \omega_c} \frac{\left[\sigma_1 \frac{r'_2}{s} (1 - \cos \theta) \pm (x_1 + \sigma_1 x'_2) \sin \theta \right]}{(x_1 + \sigma_1 x'_2)^2 + (r_1 + \sigma_1 \frac{r'_2}{s})^2}. \quad (18a)$$

Знак (+) относится к первой машине, а знак (—) — ко второй,

В этом случае рабочий ток

$$-I'_{2(1,2)} = \frac{U}{2} \frac{1 - e^{\mp j\theta}}{Z_1 + \sigma Z'_2}, \quad (19)$$

намагничивающий

$$I_{\mu(1,2)} = \frac{U}{\sigma Z_\mu} \left\{ 1 - \frac{Z_1}{2} \frac{1 - e^{\mp j\theta}}{Z_1 + \sigma Z'_2} \right\}. \quad (20)$$

¹ Индекс δ означает действительную часть.

Первичный ток

$$I_1 = \frac{U}{\sigma} \left[\frac{1}{Z_\mu} + \frac{n - \sum_{l=1}^n e^{j(\theta_l - \theta_\nu)}}{nZ_1 + 2\sigma Z'_2} \right]. \quad (21)$$

Выражение (21) показывает возможность вынесения контура намагничивания по методу М. П. Костенко с сохранением точного выражения для первичного тока.

При двух машинах в системе и малом скольжении намагничивающий ток изменяется незначительно (практически до 10%), но если скольжение близко к единице, то это изменение может достигать 50% [Л. 5]. При большом числе машин эта величина может возрасти еще больше.

Интересно отметить, что только в случае, когда число машин n бесконечно велико, а все роторы сдвинуты по отношению к ротору данной машины на один и тот же угол $\theta = \theta_1 - \theta_\nu = \dots = \theta_n - \theta_\nu$, ток намагничивания по фазе

будет изменяться также на угол θ . Во всех остальных случаях это не имеет места.

Изложенное выше может быть положено в основу при установке тех или иных допущений в отношении тока намагничивания.

Сравнение методов. С целью определения целесообразности уточнения существующего метода [Л. 2, 3] были произведены сравнительные расчеты для систем, состоящих из двух и четырех асинхронных двигателей типа АЗП 136/95: $P = 0,5$ кВт, $U_n = 110$ в, $I_1 = 5,5$ а, $n = 1500$ об/мин. Расчеты показали, что при работе двух асинхронных двигателей в качестве уравнивателей превышение момента, определенного по изложенному методу [Л. 2, 3], по отношению к моменту, определенному по предлагаемому методу, составляет при $s = 1$ 24,3%, при $s = 1,5$ 31,5%. Экспериментальные исследования с этими машинами подтверждают указанные превышения момента. Если же система состоит из четырех двигателей, то погрешность по моменту превышает 50%. Это показывает, что для машин малой и средней мощности расчет момента по уточненным формулам совершенно необходим.

Расчеты первичных токов показывают, что при системе двух уравнивателей погрешность составляет не более 2%, а при системе из четырех уравнивателей она составляет в наиболее неблагоприятных режимах 32,5%. Следует отметить, что геометрическими местами центров

кривых, описываемых векторами $-i'_{2v}$ и $i_{\mu v}$, будут окружности. Кривые, описываемые этими векторами, также окружности, если рассогласования роторов системы по отношению к ротору рассматриваемой машины одинаковы. В том случае, когда рассогласования роторов различны, окружности токов $-i'_{2v}$ и $i_{\mu v}$ превратятся в более сложные кривые, радиусы-векторы которых зависят от изменения углов рассогласования роторов.

Путем построения круговой диаграммы можно установить, что с увеличением скольжения границы устойчивой работы двигателя расширяются, а изменение тока намагничивания сильно возрастает. Это подтверждает изложенные соображения.

Заключение. Из сравнения с методом [Л. 2, 3] следует, что для машин малой и средней мощности целесообразно применение первого изложенного метода, тем более, что расчетные формулы по сложности примерно одинаковы.

Метод автора позволяет рассмотреть любые системы, в том числе и составленные из разных двигателей.

Для каждого асинхронного двигателя системы можно составить схему замещения, в которой учтено влияние системы на этот двигатель.

Приложение. 1. Вывод выражения (6). После введения коэффициентов $k_{e\mu}$ и $k_{i\mu}$, решение задачи об определении токов переносится на вторичную цепь. По условию двигатели симметричны. Составляем для расчета электрическую схему одной фазы роторов всех двигателей системы (рис. 3).

Суммарный ток в фазе любого v -того двигателя

$$i_{2v} = i_{ypv} + i_{rv}, \quad (1,1)$$

где i_{ypv} — суммарный уравнивающий ток для этого двигателя;

i_{rv} — ток нагрузки на сопротивление r .

При этом

$$i_{ypv} = i_{yp1-2} + i_{yp1-3} + \dots + i_{yp1-n}$$

или

$$i_{ypv} = \frac{n\dot{E}_{2v} - \sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}}{2Z_2}. \quad (1,2)$$

Ток i_{rv} :

$$i_{rv} = \frac{\dot{E}_{2v} - i_{ypv}Z_2}{Z_2 + nr}. \quad (1,3)$$

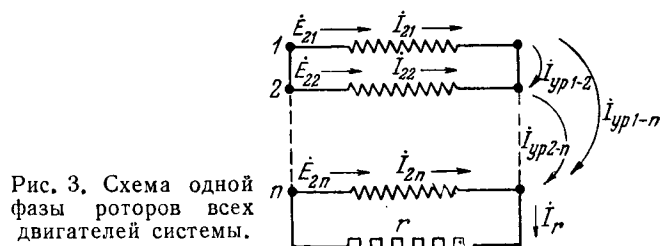


Рис. 3. Схема одной фазы роторов всех двигателей системы.

Учитывая (1,1), (1,2) и (1,3), получим:

$$i_{2v} = \frac{\dot{E}_{2v} + \frac{nr}{2Z_2} \left[n\dot{E}_{2v} - \sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l} \right]}{Z_2 + nr}. \quad (1,4)$$

Переходим к выражениям для приведенных к статору величин ротора с учетом (4) и (5):

$$-i'_{2v} = \frac{-\dot{E}'_{2v}}{k_e k_l} \frac{1 + \frac{nr}{2Z_2} \left(n - \frac{\sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}}{\dot{E}_{2v}} \right)}{Z_2 + nr}. \quad (6)$$

2. Вывод выражения (8). Согласно рис. 2

$$U = i_{1v}Z_1 - \dot{E}'_{2v}; \quad i_{\mu v} = \frac{-\dot{E}'_{2v}}{Z_{\mu}};$$

$$i_{1v} = i_{\mu v} - i'_{2v}.$$

Тогда

$$U = -\dot{E}'_{2v}\sigma - i'_{2v}Z_1,$$

где

$$\sigma = 1 + \frac{Z_1}{Z_{\mu}}.$$

Учитывая (6) и (4), получим:

$$\begin{aligned} \frac{U}{Z_1} \cdot k_{i\mu} + \dot{E}_{2v} \left[\frac{\sigma k_l k_l}{Z_1} + \frac{1}{Z_2 + nr} \left(1 + \frac{n^2 r}{2Z_2} \right) \right] = \\ = \frac{nr}{2Z_2(Z_2 + nr)} \sum_{l=1}^n \dot{E}_{2l}. \end{aligned}$$

Если ввести обозначения (9), то находим выражение (8).

Литература

1. М. П. Костенко. Теоретическое обоснование схемы всеобщего трансформатора, Электричество, №23—24, 1928.
2. И. М. Садовский. Группа асинхронных двигателей в схеме электрического вала. Электричество, № 14, 1937.
3. И. М. Садовский. Общая теория электрического вала. ВЭП, № 3, 1938.
4. М. П. Костенко. Электрические машины. Спец. часть. Госэнергоиздат, 1949.
5. Д. В. Васильев. Индукционные системы синхронной связи. Госэнергоиздат, 1949.

[26. 5. 1952]



Расчет электрического режима дуговых сталеплавильных печей с учетом выпрямляющего действия дуги

Кандидат техн. наук Ю. Е. ЕФРОЙМОВИЧ

Москва

Исследование мощного дугового разряда переменного тока в трехфазных сталеплавильных печах [Л. 1] показало наличие вентильных свойств дуги. Когда катодом является твердый или расплавленный металл, а анодом — графитированный электрод, напряжение на дуге выше, чем при обратной полярности электродов. Ярче всего это проявляется при горении дуги на металл, свободный от шлакового покрова, особенно, если металл не расплавлен. Это явление почти не обнаруживается, если дуга горит под слоем расплавленного шлака и жидком металле.

В объяснение этого явления можно предположить, что падение напряжения у анода и катода различно и что количество энергии, выносимое парами, покидающими анод, и влияние паров анода на градиент напряжения в столбе дуги зависят от полярности электрода и металла.

При горении дуги между электродом и холодным металлом существенное значение, по-видимому, приобретает также трудность создания стабильного катодного пятна на металле, обладающем высокой теплопроводностью и теплоемкостью. Иногда при несимметричной нагрузке по фазам печи это приводит даже к однополупериодному горению дуги.

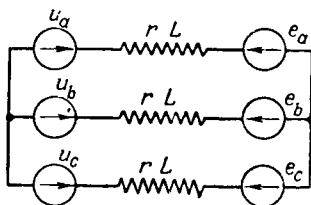


Рис. 1.

Рассмотрим, какое влияние оказывает несимметричное напряжение дуги на электрический режим трехфазных промышленных печей с равными по фазам значениями r и L подводящей сети.

Для облегчения анализа допустим, что напряжение дуги не зависит от тока и опреде-

При несимметричном по полупериодам несинусоидальном напряжении дуги, но при равных по фазам трехфазной печи напряжениях дуг и значениях r и L применимы методы расчета электрического режима, разработанные для трехфазных цепей с симметричными по полупериодам напряжениями дуг.

ляется лишь длиной дуги, которая принимается равной во всех трех фазах печи.

На рис. 1 приведена эквивалентная схема печи для рассматриваемого случая; u_i и e_i — напряжения сети и дуги по фазам. Для общего случая, когда $E_{км} > E_{кэ}$ (где $E_{км}$ и $E_{кэ}$ — напряжение на дуге в полупериод, когда катодом является металл или электрод), на рис. 2 представлен график напряжения дуги для трех фаз печи.

Из рис. 1 и 2 следует, что для интервала времени $0 < t < t_1$ эквивалентная расчетная схема

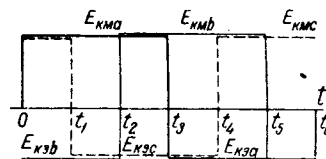


Рис. 2.

может быть представлена в виде, показанном на рис. 3, а. Эффекта трех дуг в фазах a , b и c можно достичь, заменив их одной дугой в фазе b неизменного на данном интервале времени значения напряжения $E_{км} + E_{кэ}$. Для остальных

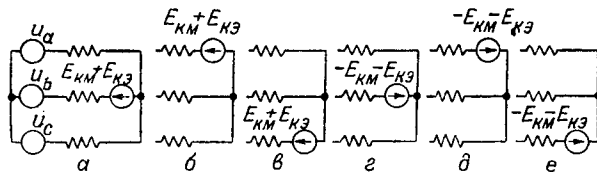


Рис. 3.

ных интервалов времени $t_2 - t_1$, $t_3 - t_2$ и т. д. соответствующие эквивалентные схемы показаны на рис. 3, б, в, г, д, е.

Обозначим $\bar{E} = \frac{E_{км} + E_{кэ}}{2}$. Рис. 3 показывает, что расчетное напряжение дуги неизменно по величине в течение периода, равно $2\bar{E}$ и действует поочередно в 1, 3 и 2 фазах.

Нетрудно заметить, что приведенная на рис. 3 эквивалентная схема полностью удовлетворяет

трехфазной цепи с равными по полупериодам напряжениями дуги E , осциллограммы которых представлены на рис. 4.

Из сопоставления рис. 2, 3 и 4 и с учетом [Л.2] можно сделать вывод, что при $E_{км} \neq E_{кэ}$, если только напряжения дуг в трех фазах печи симметричны, должно соблюдаться равенство:

$$t_1 = t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \dots = t_6 - t_5.$$

При непрерывном режиме горения дуги напряжение, действующее между нулевыми точ-

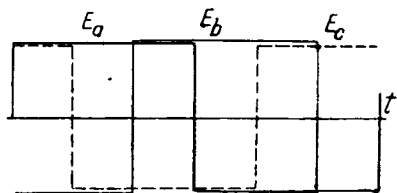


Рис. 4.

ками трансформатора и печи, можно представить в виде двух слагаемых: постоянной составляющей $e_0 = \frac{E_{км} - E_{кэ}}{2}$ и суммы бесконечного ряда гармонических, кратных трем. Для $t \neq k \frac{\pi}{3\omega}$

$$\left| \sum_{k=1}^{\infty} e_{3k} \right| = \frac{E_{км} + E_{кэ}}{6}.$$

На рис. 5 показаны составляющие напряжения e_0 и $\sum_{k=1}^{\infty} e_{3k}$. Если из напряжения дуги e_i вычесть напряжение, измеренное между нулевыми точками трансформатора и печи, то получим напряжение, включающее 1, 5, 7, 11, 13 и т. д. гармоники напряжения.

На рис. 5 для фазы a показано напряжение $e_a - e_0 - \sum_{k=1}^{\infty} e_{3k}$, которое позволяет для фазы a независимо определить значение составляющей первой и всех высших гармоник тока, обусловленных действием напряжения дуги. Это напряжение симметрично для обоих полупериодов и в точности совпадает по величине и форме

с напряжением $e_a - \sum_{k=1}^{\infty} e_{3k}$ рис. 4.

Из изложенного следует, что для печи с несимметричным напряжением (рис. 2) ток, так же как и у печи с симметричным напряжением

(рис. 4), будет по форме и величине одинаков в оба полупериода и может быть рассчитан с помощью известных методов [Л.2], если заменить истинные напряжения дуги ($E_{км}$ и $E_{кэ}$) эквивалентным.

Для действительной и эквивалентной печи с симметричным напряжением дуги будут равны не только токи, но и суммарные активная, реактивная и кажущаяся мощности, а также мощность искажения.

Однако для печи с несимметричным напряжением дуги значение полезных мощностей по полупериодам неравно, так как $i_{\omega t} = -i_{\omega t + \pi}$,

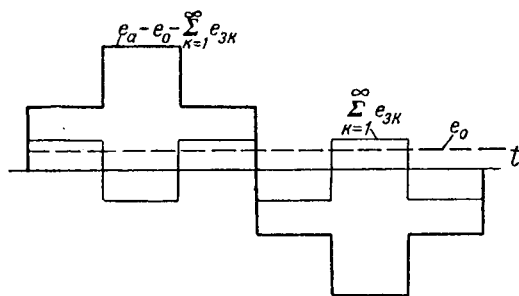


Рис. 5.

а $E_{км} i_{\omega t} > E_{кэ} i_{\omega t + \pi}$. Однако сумма мгновенных значений мощности для трех фаз печи с несимметричным и эквивалентным симметричным напряжением дуги равны. Это следует из рис. 3.

Значения постоянной составляющей напряжения, которые могут быть измерены между нулевыми точками трансформатора и печи при прерывистом и непрерывном режимах горения дуги, приведены в таблице, где 2α — перерыв в горении дуги (в фазных градусах).

2α	$0 \div 60^\circ$	80°	100°	120°
$\frac{e_0}{E_{км} - E_{кэ}}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	0

В заключение следует отметить, что при неравных по фазам печи значениях r и L или несимметричном режиме по фазам токи могут содержать постоянные составляющие, в этом случае при изменении полярности электродов токи будут различны по форме и величине.

Литература

1. В. Н. Никольский. Выпрямляющее действие дуги трехфазной сталеплавильной печи. Электричество, № 11, 1951.
2. Ю. Е. Ефроймович. Инженерные методы расчета дуговых печей с учетом нелинейности, вносимой дуговым разрядом. Электричество, № 12, 1948.

[2. 4. 1952]



Методы конструирования сегнетоэлектрической аппаратуры

Доктор техн. наук, проф. А. Е. КАПЛЯНСКИЙ
Ленинград

Сегнетоэлектрики и их применение. В 1945 г. член-корреспондент Академии наук СССР Б. М. Вул изобрел новый керамический диэлектрик — титанат бария («тибар»), обладающий сверхвысокой диэлектрической проницаемостью, зависящей от напряженности электрического поля и температуры и, кроме того, высокой механической прочностью и температурной устойчивостью. С тех пор рядом исследователей предлагалась на основе титанатов другая более сложная по своему составу сегнетокерамика, обладающая в принципе аналогичными свойствами, но несколько другими характеристиками зависимости диэлектрической проницаемости от напряженности поля и температуры. В результате этих исследований качество сегнетокерамики улучшается — значение максимальной проницаемости повышается, угол потерь уменьшается.

Параллельно с изучением, улучшением и разработкой новых видов сегнетокерамики началось ее практическое применение и разработка сегнетоэлектрической аппаратуры, в основном конденсаторов с сегнетокерамическим диэлектриком.

Большой интерес представляет также использование нелинейных свойств сегнетокерамики, в частности, зависимости диэлектрической проницаемости от напряженности поля. Но сделанные до сих пор попытки создания сегнетоэлектрической аппаратуры [Л. 1—3] носят, как нам кажется, разрозненный и случайный характер и не проникнуты общей идеей.

В статье предлагается общая методика создания сегнетоэлектрической аппаратуры; она основана на аналогии с ферромагнитной аппаратурой, использующей нелинейные свойства стали — зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля. Эта аппаратура — стабилизаторы напряжения, умножители частоты, магнитные усилители, пик-трансформаторы и другие устройства — разрабатывались очень широко в течение многих лет; предлагаемая ниже методика позволяет использовать достижения электромагнитной техники при проектировании сегнетоэлектрической аппаратуры подобного назначения.

Характеристики ферромагнетиков. Нелинейные свойства ферромагнитных материалов проявляются в сложной зависимости магнитной индук-

Предлагается метод составления схем сегнетоэлектрической аппаратуры, использующей нелинейную характеристику сегнетоэлектриков. Метод основан на прямой или обратной аналогии этих устройств аппаратуре подобного назначения, использующей нелинейные свойства ферромагнетиков. На этой основе рассмотрены некоторые стабилизаторы и умножители частоты. В заключение рассматривается новое явление ферросегнеторезонанса.

ции B от напряженности магнитного поля H — петле гистерезиса; для простоты ограничимся основной кривой намагничивания (рис. 1, обозначения осей — снаружи), соединяющей вершины гистерезисных петель, т. е. точки

H_m и B_m .

Кривая $B(H)$ в другом масштабе дает, очевидно, зависимость полного магнитного потока Ψ от тока i намагничивающей обмотки. Эта же кривая дает зависимость между амплитудами полного потока Ψ_m и тока I_m при переменном токе без постоянной составляющей. При синусоидальном законе изменения магнитного потока Ψ с частотой ω амплитуда напряжения на зажимах катушки с ферромагнитным сердечником (при пренебрежении активным сопротивлением обмотки) равна:

$$U_m = \omega \Psi_m$$

и, следовательно, та же кривая представляет собой амплитудную вольтамперную характеристику $U_m(I_m)$ для заданной частоты ω . Вследствие нелинейности магнитной характеристики

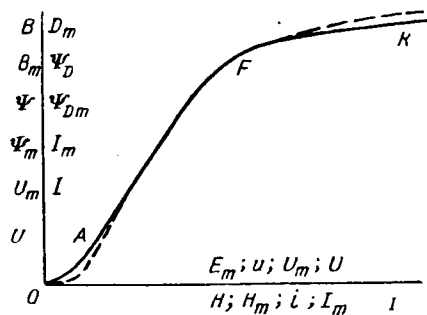


Рис. 1.

кривая тока в функции времени при синусоидальном напряжении будет отлична от синусоиды — она содержит помимо синусоиды основной частоты ряд нечетных гармоник. Поэтому, если мы изменим в $\sqrt{2}$ масштаб оси ординат, сделав ее осью действующих значений напряжения U , соответствующие им точки действующего значения тока I не будут лежать на кривой $U_m(I_m)$ — вольтамперная характеристика $U(I)$, связывающая действующие значения напряжения

и тока, несколько сместится относительно характеристики, связывающей их амплитуды.

Как известно, кривая намагничивания содержит три типичных участка (рис. 1): начальный—вогнутый относительно оси абсцисс (OA), средний—прямолинейный (AF) и выпуклый—участок насыщения (FK).

Если напряжение меняется лишь в таких пределах, что поток остается на вогнутой части кривой намагничивания $\Psi(i)$ (кривая 1 на рис. 2, а), кривая тока i_1 при синусоидальном напряжении и потоке (рис. 2, б) будет проходить выше синусоиды i_3 , имеющей ту же амплитуду I_m , и даст, очевидно, большее действующее значение, чем синусоида i_3 :

$$I_1 > \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Следовательно, кривая $U(I)$ на начальном своем участке (пунктир на рис. 1) пройдет ниже кривой $U_m(I_m)$.

Если синусоидальное напряжение, а следовательно, и поток изменяются в широких пределах вплоть до насыщения (кривая 2 на рис. 2, а), кривая тока i_2 будет иметь пикообразную форму (рис. 2, б), проходя ниже синусоиды с той же амплитудой I_m , и даст меньшее действующее значение:

$$I_2 < \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Следовательно, кривая $U(I)$ в зоне насыщения пройдет несколько выше кривой $U_m(I_m)$ и эффект насыщения несколько уменьшится (пунктир на рис. 1).

Заметим, что кривая $U(I)$ будет мало отличаться от кривой $U_m(I_m)$, так как высшие гармоники в кривой тока, создающие эту разницу, будут в действующем значении складываться с первой гармоникой в квадратуре:

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_{m1}^2 + I_{m3}^2 + I_{m5}^2 + \dots},$$

и благодаря своему малому значению по сравнению с основной гармоникой скажутся очень незначительно. Практически та же самая кривая $\Psi(i)$ (рис. 1) в соответствующих масштабах осей может служить и в качестве вольтамперной характеристики $U(I)$; последняя будет содержать те же три характерных участка—вогнутый, прямолинейный и выпуклый.

В предыдущем мы предполагали синусоидальный закон изменения напряжения; аналогичный результат получится и в предположении синусоидального тока.

В большинстве случаев для построения аппаратуры используется не первый, обычно очень небольшой вогнутый OA участок кривой, а нелинейность, вызванная насыщением, т. е. выпуклая FK часть вольтамперной или потоко-токовой характеристики. Но в дальнейшем для общности будем рассматривать оба характерных участка.

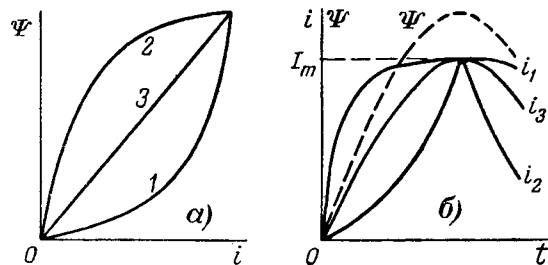


Рис. 2.

Характеристики сегнетоэлектриков. Сегнетоэлектрики, в частности сегнетокерамика, характеризуются зависимостью электрического смещения D от напряженности электрического поля E . В этих диэлектриках также имеет место явление гистерезиса и указанная зависимость имеет вид гистерезисной петли. Ограничиваясь лишь основной кривой, соединяющей вершины гистерезисных петель, получим кривую $D_m(E_m)$ (рис. 1, обозначение осей—внутри), имеющую такие же характерные участки—вогнутый OA , прямолинейный AF и выпуклый FK , как и основная кривая намагничивания.

Кривая $D_m(E_m)$ в другом масштабе дает зависимость электрического потока Ψ_D (т. е. потока вектора \vec{D}) от напряжения u ; так, например, в плоском конденсаторе с площадью обкладок S и расстоянием между ними d

$$\Psi_D = DS \text{ и } u = Ed,$$

т. е. между указанными двумя парами величин имеет место отмеченная только что пропорциональность.

При переменном токе эта же кривая является зависимостью амплитуд этих величин: $\Psi_{Dm}(U_m)$; так как ток

$$i = \frac{d\Psi_D}{dt},$$

то при синусоидальном законе изменения Ψ_D амплитуда тока

$$I_m = \omega \Psi_{Dm}$$

и, следовательно, та же кривая представляет собой амплитудную „ампервольтовую“ характеристику $I_m(U_m)$ для заданной частоты ω .

Аналогично катушке с ферромагнитным сердечником кривая $I_m(U_m)$ в первом приближении является ампервольтовой характеристикой $I(U)$ для действующих значений тока и напряжения или во всяком случае действительная ампервольтовая характеристика содержит три указанных выше характерных участка—вогнутый, прямолинейный и выпуклый.

Заметим, что при использовании нелинейной характеристики сегнетоэлектрика надо считаться с его электрической прочностью, пока еще невысокой: в некоторых случаях на выпуклом участке FK возникает опасность пробоя и приходится ограничиваться первым вогнутым участком OA кривой; необходимо подчеркнуть, что у сегнето-

электриков вогнутый участок характеристики выражен более отчетливо, чем в кривой намагничивания.

Как известно, две цепи называются взаимобратными, если напряжение одной ведет себя как ток другой, а ток первой — как напряжение второй. Катушка со стальным сердечником в принципе обратна цепи конденсатора с сегнетоэлектриком, так как вольтамперная характеристика первой подобна ампервольтной характеристике второго.

Предлагаемая методика. Из только что приведенного сопоставления катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора с сегнетоэлектриком и вытекает предлагаемая нами методика проектирования сегнетоэлектрической аппаратуры. В основу конкретного проекта кладется электромагнитный аппарат с известной схемой, удовлетворяющий поставленным требованиям, и по аналогии с ним создается сегнетоэлектрический аппарат. При этом в зависимости от рабочих зон обоих аппаратов возможны два случая:

1) подобны одноименные характеристики катушки и конденсатора;

2) подобны разноименные характеристики катушки и конденсатора.

Первый случай будет иметь место, если катушка работает на выпуклой части своей вольтамперной характеристики, конденсатор же должен работать на вогнутой части своей ампервольтной характеристики; если взять вместо ампервольтной характеристики конденсатора вольтамперную, а для этого достаточно повернуть график на 90° , то вогнутая часть ее превратится в выпуклую и обе одноименные (вольтамперные) характеристики окажутся подобными. В этом случае, очевидно, никакого изменения в схеме не потребуется и нужно лишь ее индуктивные элементы заменить емкостными, и наоборот; при этом линейные катушки заменяются линейными конденсаторами, а нелинейные катушки — нелинейными же конденсаторами, и наоборот.

Аналогично будет обстоять дело, если рабочей зоной катушки является вогнутая часть ее вольтамперной характеристики, а у конденсатора — выпуклая часть его ампервольтной характеристики.

Во втором случае в обоих аппаратах используется одна и та же — или вогнутая или выпуклая — часть своих характеристик, например, катушка работает на выпуклой части своей вольтамперной характеристики, а конденсатор — на выпуклой части своей ампервольтной характеристики. В этом случае будут подобны разноименные характеристики, и, следовательно, обе цепи должны быть взаимобратными — схема сегнетоэлектрического аппарата должна быть обратной схеме ферромагнитного. Для составления обратной схемы, как известно, нужно заменить все индуктивности емкостями и наоборот, все последовательные соединения — параллельными и генераторы напряжения — генераторами тока и наоборот; активные сопротивления остаются без изменений. В таком «обратном» сегнетоэлектрическом аппарате будет вести себя заданным образом величина,

на, обратная аналогичной величине ферромагнитного аппарата; так, например, ферромагнитный стабилизатор напряжения превратится в сегнетоэлектрический стабилизатор тока.

В дальнейшем рассмотрено несколько примеров применения предлагаемого метода.

Резонансный стабилизатор. Схема простейшего феррорезонансного стабилизатора напряжения изображена на рис. 3, характеристика холостого хода — на рис. 4, причем величины, относящиеся к этому стабилизатору, обозначены одним штрихом. Здесь показаны вольтамперные характеристики линейного конденсатора $U'_C(I')$ — прямая, катушки с ферромагнитным сердечником; $U'_2(I')$ — кривая намагничивания и их алгебраическая сумма — вольтамперная характеристика всей цепи $U'_2(I')$; для правой (за точкой резонанса) части графика значительному изменению $\Delta U'_1$ входного напряжения соответствует значительно меньшее изменение $\Delta U'_2$ выходного напряжения.

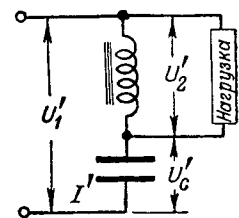


Рис. 3.

Таким образом, здесь используется выпуклая часть вольтамперной характеристики катушки. При создании сегноторезонансного стабилизатора с использованием также выпуклой части его вольтамперной же характеристики следует, как было сказано, заменить линейный конденсатор линейной катушкой, а нелинейную катушку — нелинейным конденсатором (рис. 5). Схема будет попрежнему работать как стабилизатор напряжения; его характеристики будут изображать тот же рис. 4, на котором величины, к нему относящиеся, обозначены двумя штрихами. Здесь, как и в ферромагнитном стабилизаторе, стабилизировано напряжение на нелинейном элементе. Разница лишь в том, что цепь самого феррорезонансного стабилизатора носит емкостный характер ($U'_C > U'_2$), цепь сегноторезонансного — индуктивный ($U''_L > U''_2$).

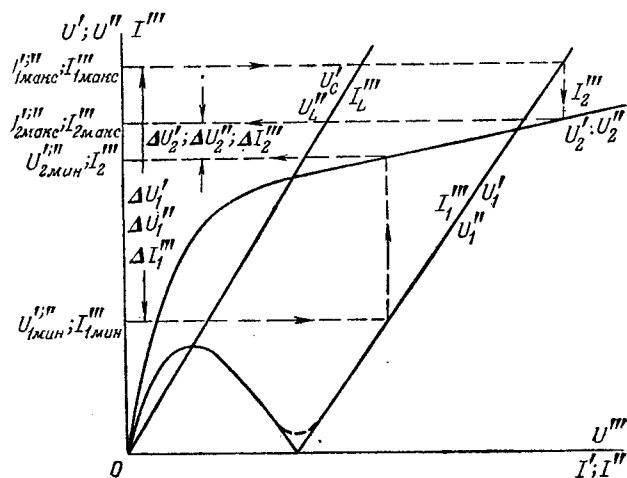


Рис. 4.

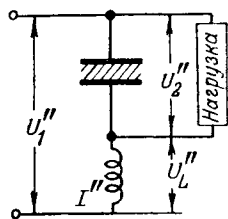


Рис. 5.

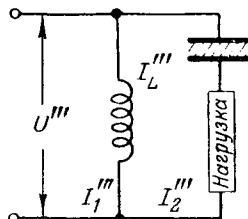


Рис. 6.

При использовании вогнутой части вольт-амперной характеристики сегнетоэлектрика (или, что то же самое, выпуклой части его ампер-вольтовой характеристики) следует перейти на обратную схему. В соответствии со сказанным выше она состоит из параллельного соединения линейной катушки и нелинейного конденсатора последовательно включенной нагрузкой (рис. 6). Ампервольтовые характеристики этой схемы (при коротком замыкании приемника) показаны на том же рис. 4, причем величины, к ней относящиеся, обозначены тремя штрихами. Катушка имеет прямую ампервольтовую характеристику

$$I_L''' = U''' \frac{1}{\omega L},$$

характеристика $I_2'''(U''')$ пересекает ее в точке резонанса, их алгебраическая сумма является ампервольтовой характеристикой $I_1'''(U''')$ всей цепи. Для правой части графика значительному изменению $\Delta I_1'''$ входного тока I_1''' соответствует незначительное изменение $\Delta I_2'''$ тока рабочей цепи.

Таким образом, схема рис. 6 является стабилизатором тока, а не стабилизатором напряжения. Заметим, что совершенно аналогично вел бы себя стабилизатор тока, состоящий из параллельного соединения линейного конденсатора и катушки с ферромагнитным сердечником, работающей на вогнутой части своей вольт-амперной характеристики.

Резонансный умножитель частоты. Для умножения частоты часто применяется феррорезонансная схема, изображенная на рис. 7,а. Напряжение на катушке L при ее насыщении и синусоидальном токе в ее обмотке будет содержать ряд нечетных гармоник. При резонансе в первичном контуре L, L_1, C_1 для частоты генератора f напряжение на L сильно искажается, генератор же работает в наиболее выгодных условиях. Вторичный контур r_2, L_2, C_2 настраивается в резонанс на желаемую гармонику частоты nf , благодаря чему напряжение этой гармоники полностью сосредоточивается на сопротивлении нагрузки r_2 , а остальные гармоники напряжения будут подавлены.

Схема сегнеторезонансного умножителя частоты, работающего также на выпуклой части своей вольт-амперной характеристики, показана на рис. 7,б и не нуждается в пояснениях; она совпадает со схемой рис. 7,а, за исключением нелинейного элемента — вместо катушки с ферромагнитным сердечником включен конденсатор с сегнетоэлектриком.

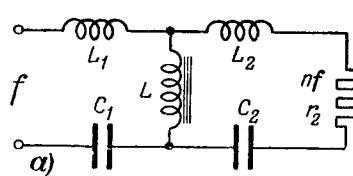


Рис. 7.

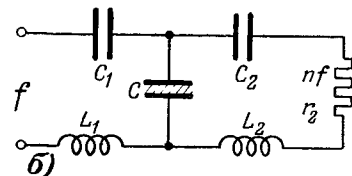


Схема сегнеторезонансного умножителя частоты, работающего на вогнутой части своей вольт-амперной характеристики (т. е. на выпуклой части ампервольтовой характеристики), обратна схеме феррорезонансного умножителя рис. 7,а и изображена на рис. 8. В ней дважды используется резонанс токов, тогда как в исходной схеме был дважды использован резонанс напряжений; если

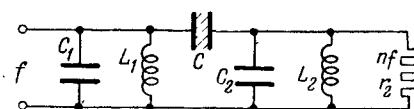


Рис. 8.

в схемах рис. 7 происходит выделение нужной гармоники из кривой напряжения на нелинейном элементе, то в схеме рис. 8 выделяется нужная гармоника тока нелинейного элемента. Результат в обоих случаях одинаковый, так как кривые напряжения и тока в активном сопротивлении нагрузки подобны друг другу; поэтому в данном случае безразлично, питаются ли рассмотренные цепи генератором напряжения или генератором тока.

Заметим, что схема рис. 8 близка к схеме предложенного В. П. Вологдиным умножителя частоты с сегнетоконденсатором [Л. 1].

Ферросегнеторезонанс. Интересно указать возможность нового эффекта, возникающего при наличии в цепи и катушки с ферромагнитным сердечником и конденсатора с сегнетоэлектриком: ферросегнеторезонанс напряжений при последовательном соединении и ферросегнеторезонанс токов при параллельном соединении.

На рис. 9 совмещены вольт-амперные характеристики катушки и конденсатора. При последовательном соединении складываются напряжения — ординаты характеристик, при параллельном — токи, т. е. абсциссы. Как суммарное напряжение, так и суммарный ток имеют по два минимума, соответствующие двум резонансным точкам. При последовательном соединении от начала координат до первого резонанса цепь носит емкостный характер, между двумя резонансами — индуктивный, потом опять емкостный; при параллельном соединении — наоборот.

Если второй максимум суммарного напряжения больше первого (а так это обычно и будет, так как вогнутая часть вольт-амперной характеристики катушки меньше выражена, чем у конденсатора), при постепенном повышении напряжения на зажимах последовательной цепи произойдут два скачка тока, показанные на рис. 9 пунктиром, сопровождаемые опрокидыванием фазы; аналогично при увеличении тока параллель-

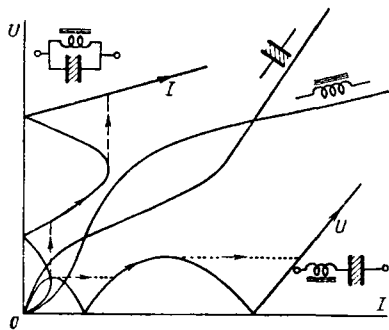


Рис. 9.

ной цепи произойдут два скачка напряжения (прерывистая линия на рис. 9). Обратный ход кривых не совпадает с прямым ходом.

Ферросегнеторезонанс может иметь ряд интересных технических применений.

Заключение. В статье предлагается метод составления схем аппаратуры, использующей нелинейность сегнетоэлектриков, по известным схемам ферромагнитных аппаратов и по рабочей зоне их характеристик. При подобии вольтамперных характеристик схема не меняется и происходит лишь замена индуктивностей на емкости, и наоборот. При подобии вольтамперной и ампервольтной характеристик следует заменить исходную схему схемой, ей обратной.

На этой основе рассмотрены некоторые стабилизаторы и умножители частоты. В заключение рассматривается новое явление ферросегнеторезонанса.

Все явления и процессы рассмотрены лишь с качественной стороны, графическим способом, как это обычно принято при рассмотрении нелинейных цепей. Количественные выводы можно сделать, оперируя с конкретными характеристиками, зависящими от выбора тех или иных ферромагнитных и сегнетоэлектрических материалов.

Сегнетоэлектрическую аппаратуру можно, конечно, разрабатывать самостоятельно — независимо от ферромагнитной, но и в этом случае полезно составить аналогичную ферромагнитную цепь и сравнить ее с сегнетоэлектрической и с уже известными ферромагнитными устройствами.

Литература

1. В. П. Вологдин. Новый генератор повышенных и высоких частот. *Электричество*, № 8, 1946.
2. Г. И. Сканава и М. Д. Нейман. Стабилизация напряжения с применением конденсаторов из титаната бария. *Электричество*, № 7, 1949.
3. Г. И. Сканава. Физика диэлектриков. Гостехтеоретиздат, 1950.

[14. 3. 1952]



Прецизионный соленоидный стабилизатор электрического тока

*Кандидат техн. наук О. Г. КАЦНЕЛЬСОН,
инж. А. С. ЭДЕЛЬШТЕЙН*

Москва

Для ряда исследовательских работ и установок требуется очень высокая стабильность величины напряжения или тока. В частности, во всех работах, где приходится иметь дело с фотометрированием световых потоков ламп накаливания, необходимо с исключительно большой точностью поддерживать постоянство тока накала, так как даже самое незначительное его изменение отражается на световом потоке источника света и вносит большую погрешность в результаты измерений.

Принцип действия соленоидного стабилизатора. Авторами разработан новый тип электрического стабилизатора¹, который включается в сеть

Дается описание стабилизатора переменного тока, состоящего из соленоида с подвижным стальным стержневым сердечником в сочетании со вспомогательным феррорезонансным контуром. Стабилизация тока поддерживается с точностью до $\pm 0,02\%$ при колебаниях напряжения сети в $\pm 10\%$.

переменного тока и даже при значительных колебаниях напряжения и частоты сети с большой точностью поддерживает постоянство тока, проходя-

щего по подключенной к выходным зажимам стабилизатора нагрузке. Электрическая схема этого стабилизатора, который мы будем называть соленоидным, показана на рис. 1.

Рабочую цепь II стабилизатора (рис. 1) составляют соленоид 1 со стержневым стальным сердечником 2 и последовательно подключенная к соленоиду нагрузка 3 (лампа накаливания).

Протекающий по соленоиду электрический ток втягивает сердечник внутрь, вследствие чего постепенно увеличивается реактивное сопротивление соленоида. В результате сердечник свободно повисает внутри соленоида в определенном положении равновесия. Увеличение или уменьшение

¹ Авторское свидетельство № 73483 от 19.12. 1947.

напряжения сети будет влиять на положение равновесия, а следовательно, и на величину реактивного сопротивления цепи.

Характерной особенностью соленоида со стержневым стальным сердечником является то, что в определенной зоне перемещений ток, который проходит по соленоиду, определяется только развиваемым тяговым усилием и не зависит от положения сердечника.

Так как вес сердечника и, следовательно, равное ему тяговое усилие соленоида имеют строго постоянную величину, то, пока сердечник остается в указанной зоне постоянной тяги (зона стабилизации), величина тока рабочей цепи соленоидного стабилизатора, проходящего по последовательно включенной нагрузке, также с большой точностью остается постоянной. Отсюда вытекает, что в пределах зоны стабилизации соленоидный стабилизатор компенсирует не только изменение напряжения сети, но и изменение ее частоты, а также неустойчивость сопротивления нагрузки и активного сопротивления самого соленоида.

Отличие системы данного стабилизатора от известных систем соленоидных регуляторов тока состоит именно в том, что для достижения высокой точности стабилизации перемещение сердечника ограничено зоной постоянной тяги.

Следует отметить, что по своему принципу действия соленоидный стабилизатор поддерживает постоянство тока, а не напряжения. При изменении величины сопротивления нагрузки напряжение на ней меняется, а ток остается неизменным.

Для того чтобы уменьшить пределы колебаний напряжения на входе рабочей цепи соленоидного стабилизатора, эта цепь включается через вспомогательный феррорезонансный стабилизатор I (рис. 1), представляющий собой насыщенный дроссель 4 с последовательно включенной емкостью 5.

Рабочие характеристики соленоидного стабилизатора. Точность стабилизации. Правильная работа соленоидного стабилизатора характеризуется тем, что конец сердечника находится в зоне стабилизации и все его перемещения, происходящие при компенсации изменения напряжения сети, ее частоты и величины активного сопротивления цепи, ограничены этой зоной.

Для выяснения точности стабилизации были проведены испытания стабилизатора для питания лампочки накаливания мощностью 30 вт при напряжении 12 в. С помощью регулируемого автотрансформатора менялось напряжение, подводимое от вспомогательной феррорезонансной цепи к рабочей цепи соленоидного стабилизатора. Свето-

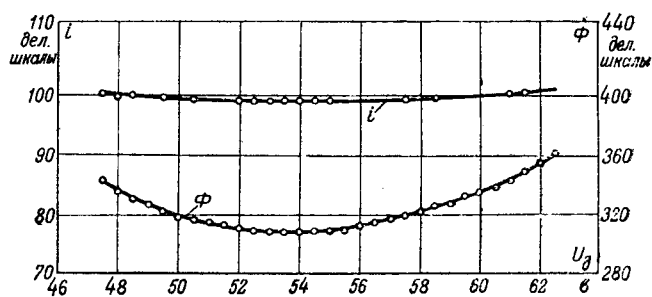


Рис. 2. Характеристика соленоидного стабилизатора.

вой поток лампочки накаливания воспринимался вакуумным фотоэлементом и измерялся зеркальным гальванометром со шкалой 500 мм. Одновременно для сравнения измерялся ток накала лампы электродинамическим амперметром. Полученная зависимость тока накала I и светового потока Φ лампочки от подводимого к рабочей цепи напряжения U_0 приведена на диаграмме рис. 2

Испытания показывают, что стабильность фотоэлемента, регистрирующего световой поток лампы в пределах 0,5 деления шкалы (при величине отклонения свыше 300 делений), достигается при условии, что выходное напряжение вспомогательного феррорезонансного стабилизатора меняется не более чем на 1,5 в от величины 54 в, что составляет менее 3% изменения.

Считая, что напряжение сети меняется на 40 в (от 180 до 220 в), получим, что вспомогательный феррорезонансный стабилизатор должен сглаживать колебания сети почти в 7 раз, что легко достижимо.

При изменении напряжения, подводимого от сети к соленоидному стабилизатору на 20%, световой поток лампочки меняется в пределах 1 мм шкалы зеркального гальванометра при базе в 500 мм. Таким образом, при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$ световой поток остается постоянным в пределах 0,2%.

Произведенные испытания показывают также (рис. 2), что изменение величины светового потока Φ лампы накаливания почти на порядок выше изменения тока накала i . Следовательно,

степень стабилизации электрического тока $\frac{\Delta i/i}{\Delta U/U}$ приближается к 0,002, т. е. изменение напряжения сети на $\pm 10\%$ вызывает изменение тока накала лампы примерно на 0,02%.

Выходное напряжение вспомогательного феррорезонансного стабилизатора I (рис. 1) из-за наличия в его цепи магнитно насыщенной стали, кроме основной гармонической составляющей, содержит ряд нечетных гармоник высших порядков, которые значительно искажают форму кривой напряжения.

Благодаря тому, что реактивное сопротивление соленоида представляет собой для высших гармоник повышенное сопротивление, эти гармоники ослабляются, в результате чего форма стабилизированного тока близка к синусоидальной.

Рис. 1. Схема соленоидного стабилизатора.

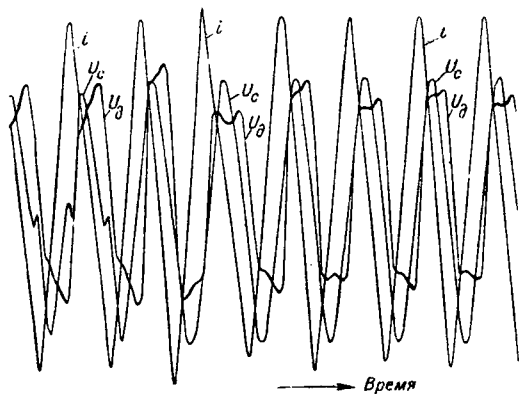


Рис. 3. Осциллограмма переходного процесса при повышении напряжения сети.

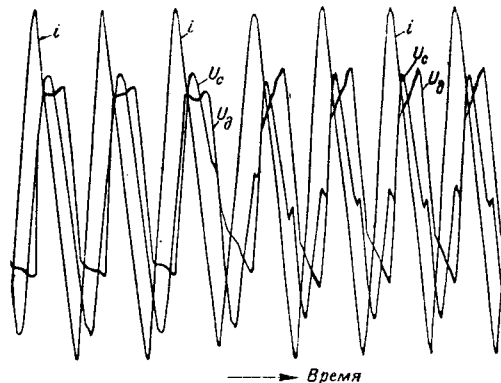


Рис. 4. Осциллограмма переходного процесса при понижении напряжения сети.

Быстрота реагирования. Для определения инерции соленоидного стабилизатора были сняты на магнитном осциллографе осциллограммы напряжения сети U_c , напряжения U_d на насыщенном дросселе 4 и стабилизируемого тока i при мгновенном изменении напряжения сети от 180 до 220 в (рис. 3) и от 220 до 180 в (рис. 4).

Из рассмотрения осциллограмм можно заключить, что при принятой максимальной величине изменения напряжения сети, весь переходный процесс занимает время двух периодов, т. е. 0,04 сек, при спаде напряжения и время пяти периодов, т. е. 0,1 сек, при его повышении. Такая скорость протекания переходного процесса в большинстве случаев является удовлетворительной.

Трансформирование стабилизированного тока. Трансформирование стабилизированного тока может потребоваться, если изготовление соленоида на заданный ток будет практически затруднено, или если от одного стабилизатора необходимо питать несколько нагрузок с различным номинальным током.

Однако применение для этой цели обычных силовых трансформаторов может привести к то-

му, что во вторичной обмотке напряжение будет зависеть от частоты сети, поскольку наводимая в ней э. д. с. прямо пропорциональна частоте пульсации магнитного потока, а число ампервитков при изменении частоты не меняется.

Поэтому, для трансформирования стабилизированного тока требуется применять трансформаторы, магнитная индукция которых имеет небольшую величину и число намагничивающих ампервитков мало по сравнению с ампервитками вторичной обмотки.

Расчеты показывают, что стабильность трансформированного тока в пределах 0,02% от номинальной величины при изменении частоты сети на 2 гц (4%) достигается в том случае, если намагничивающие ампервитки составляют не более 5% от вторичных ампервитков.

Практически это означает, что для трансформирования стабилизированного тока мощностью, например, в 30 вт, при допустимой погрешности 0,02% можно использовать нормальный пакет стали Ш-30, допустив в нем индукцию, равную 3 000 гс.

[2. 6. 1952]



Нефтяные масла и полимерные углеводороды как диэлектрики

Кандидат техн. наук, доц. В. А. ГОЛУБЦОВА,
доктор техн. наук К. А. АНДРИАНОВ
Москва

Безусловный теоретический и практический интерес представляет изучение нефтяных масел, в которых в качестве загустителей

используются полимерные углеводороды. Получение смесей из нефтяных масел и полимерных углеводородов является заманчивой задачей, так как они представляют собой смеси углеводородов, поэтому позволяют получать материалы с малыми диэлектрическими потерями и высокими удельными электрическими сопротивлениями. Однако это важное свойство углеводородов не всегда можно использовать из-за большой их чувствительности к окислению. Углеводороды нефтяного масла, которые являются основной частью пропиточных маслоканифольных смесей, стабилизируются канифолью и, как показывает опыт, приобретают в этих условиях достаточную стабильность.

Были рассмотрены смеси, полученные из тяжелых нефтяных масел типа брайтсток и полимерных углеводородов. В качестве полимерного углеводорода был взят продукт полимеризации бутан-бутиловой фракции (крекинг-газ). Полимер имел средний молекулярный вес 6 000 ... 8 000 и назван «изол».

Второй полимерный углеводород полиизобутилен получался¹ при помощи термической деструкции при 290° С полиизобутилена со средним молекулярным весом 76 000. Полученный из него деструктированный полиизобутилен имел средний молекулярный вес 15 000, который и употреблялся в качестве загустителя. В некоторые смеси вводилась также канифоль.

Вискозиметрические исследования смесей масла брайтсток с полиизобутиленом. Для изучения вискозиметрических характеристик готовились смеси растворением деструктированного полиизобутилена в брайтстоке.

С повышением концентрации полиизобутилена в брайтстоке резко возрастает не только вязкость смесей, но увеличивается и температурный коэффициент вязкости.

Как видно из табл. 1, вязкость раствора очень велика. Если вязкость этого раствора при 40° С сравнить с маслоканифольной смесью (25% канифоль, растворенной в брайтстоке), то раствор полиизобутилена превышает вязкость раствора канифоль в 10 раз.

¹ В. А. Голубцова. Доклады Академии наук СССР, т. 84, № 4, 1952.

Приведены результаты исследования электрических свойств смесей нефтяных масел и полимерных углеводородов. Показано положительное влияние канифоль на стабильность электрических свойств смесей при действии нагрева и напряжения.

Исследование физико-химических характеристик смесей. Для изучения изменения физико-химических свойств смесей при

действии на них температуры были изготовлены смеси, рецептура которых и их свойства приведены в табл. 2.

Таблица 1

Зависимость вязкости 25%-ного раствора полиизобутилена в брайтстоке от температуры

Температура опыта, °С	Время истечения, сек	Время истечения с поправкой на удельный вес, сек	Вязкость, пуаз
40	7 476	7 259	92,92
56,5	2 747	2 645	33,86
95	595	504	6,45
120	286	—	—

Таблица 2

Наименование смесей масла и загустителя	Рецептура смесей, %				Вязкость в 0,9 при 70° С	Коэффициент объёмного расширения
	брайт-сток	кани-фоль	изол	поли-изобу-тилен		
Масло-канифоль на брайтстоке № 1	83	17	—	—	6,78	—
Масло-изол	96,2	—	3,8	—	6,80	0,00069
Масло-полиизобутилен	96,5	—	—	3,5	6,78	0,0007
Масло изол-канифоль	92,2	5	2,8	—	7,0	0,0007
Масло-полиизобутилен-канифоль	92,5	5	—	2,5	7,0	0,0007
Масло-канифоль на брайтстоке № 2	88	12	—	—	6,78	0,007
Масло-канифоль на брайтстоке № 3	90	10	—	—	6,78	—

Опытные данные исследования изменения кислотных и иодных чисел смесей после прогрева их при 120° С в течение 14 суток приведены в табл. 3.

Из этой таблицы видно, что кислотные числа смесей мало изменяются в процессе прогрева. Однако у смесей масло-изол и масло-изобутилен, не содержащих канифоль, имеет место некоторое увеличение кислотных чисел. Увеличение кислот-

Таблица 3

Наименование смесей	Кислотное число				Иодное число	
	чистая смесь	в присутствии меди	в присутствии свинца	чистая смесь до прогрева	до прогрева	после прогрева
Масло-канифоль	27,8	27,6	28,5	27,3	32,0	28,5
Масло-изол	0,21	—	—	0,19	4,32	3,66
Масло-изол-канифоль	8,58	—	—	8,3	12,5	10,8
Масло-полиизобутилен	0,38	—	—	0,22	4,0	4,0
Масло-полиизобутилен-канифоль	8,5	8,59	8,63	8,3	12,3	10,7

ных чисел в процессе прогрева показывает, что смеси масло-изол и масло-полиизобутилен при нагревании окисляются.

Окислительные процессы протекают достаточно глубоко, т. е. с образованием карбоксильных групп. Этот процесс приводит к образованию в электрическом поле подвижных групп атомов в молекулах углеводородов, которые, как будет показано ниже, резко сказываются на изменении $\lg \delta$ угла диэлектрических потерь от температуры.

Как видно из табл. 3, иодное число у всех смесей снижается после 14 суток старения.

Это можно объяснить тем, что во время нагрева окислительные процессы протекают главным образом по месту двойных связей углеводородов.

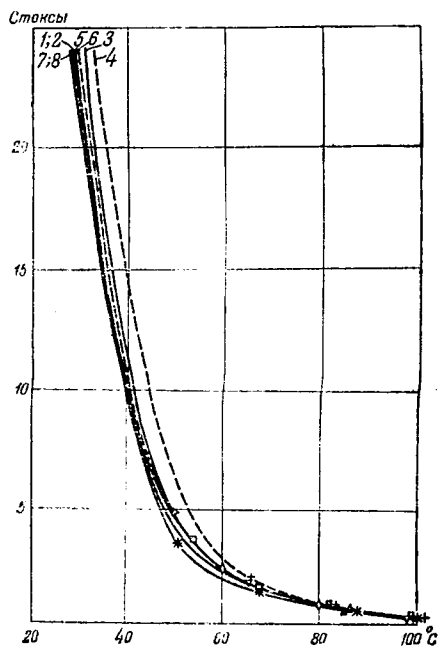


Рис. 1. Температурный ход вязкости смесей в состоянии поставки и после 14 суток старения

1—масло-полиизобутилен-канифоль при поставке; 2—то же после старения; 3—масло-канифоль при поставке; 4—то же после старения; 5—масло-канифоль на брайтстоке № 3 при поставке; 6—то же после старения; 7—масло-полиизобутилен при поставке; 8—то же после старения.

Поверхностные натяжения смесей близки между собой: у смеси масло-полиизобутилен-канифоль оно равно 33,7 *дин/см*, у масло-изол-канифоль 33,5 *дин/см* и у масло-канифоль 34,0 *дин/см*.

Результаты исследований зависимости вязкости масел и их смесей от температуры в состоянии поставки и после 14 суток старения показывают (рис. 1), что у смесей масло-изол, масло-полиизобутилен, масло-изол-канифоль и масло-полиизобутилен-канифоль зависимость вязкости от температуры близка к таковой для смеси масло-канифоль. После старения абсолютное значение вязкости у всех смесей несколько увеличивается без изменения характера указанной зависимости.

Исследование электрических свойств смесей. Диэлектрические потери. В смесях, изготовленных по рецептуре табл. 2, определялись зависимости $\lg \delta$ удельного электрического сопротивления и электрической прочности от температуры, напряжения и длительности теплового старения при температуре 120°С в течение 14 суток. В дополнение к этим исследованиям были произведены: определение способности смесей к образованию воска и наблюдение за выделением или поглощением ими газов при действии на них переменного электрического поля.

Методика исследования состояла в следующем: для определения теплового старения масла типа брайтсток и изготовленные на его основе смеси помещались в термостат и выдерживались при температуре 120°С в течение 14 суток. Сосуды с маслом и смесями имели сообщение с воздухом. Количество испытуемого вещества, взятого для каждого опыта, 100 *см³*, при этом поддерживалось постоянство соотношений между объемом образцов смесей и их поверхностью.

У масел и смесей масел с загустителями диэлектрические потери определялись на мосте Шеринга с усилителем. Образцы, подвергавшиеся термическому старению, испытывались после 2, 5, 9, 14 суток старения. Результаты исследования зависимости $\lg \delta$ от температуры приведены на рис. 2 и 3. Из приведенных рисунков видно, что масла в состоянии поставки имеют меньшую зависимость $\lg \delta$ от температуры, чем смеси. Однако после старения у масел наблюдаются резкий рост

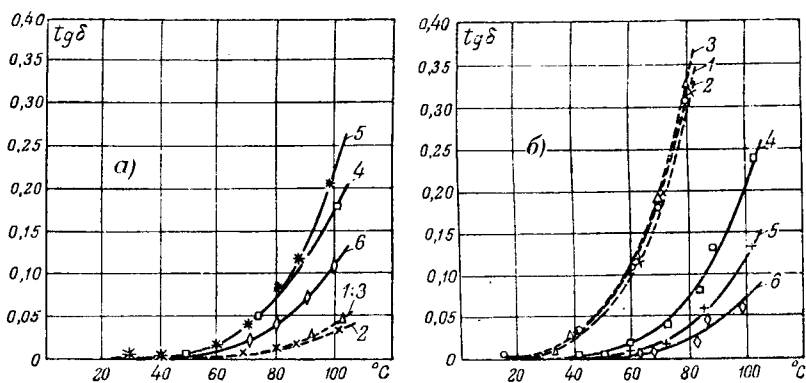


Рис. 2. Температурная зависимость $\lg \delta$ масел и смесей при поставке и после 14 суток старения при 120°С.

а—состояние поставки; б—через 14 суток старения; 1—брайтсток № 1 (3,67°Э); 2—брайтсток № 2 (3,95°Э); 3—брайтсток № 3 (4,15°Э); 4—масло-канифоль на брайтстоке № 1; 5—то же на брайтстоке № 2; 6—то же, на брайтстоке № 3.

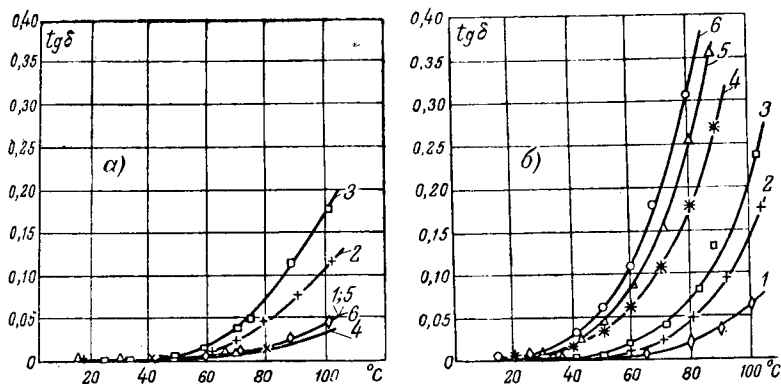


Рис. 3. Температурная зависимость $\operatorname{tg} \delta$ масла и смесей при поставке и после 14 суток старения при 120°C .

а—состояние поставки; б—через 14 суток старения; 1—масло полиизобутилен-канифоль; 2—изол-канифоль; 3—масло-канифоль на брайтстоке № 1; 4—масло-полиизобутилен; 5—масло-изол; 6—брайтсток № 1.

$\operatorname{tg} \delta$ и более резко выраженная зависимость его от температуры. Смесы, изготовленные на этих же маслах, имеют меньшую зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от температуры после старения, причем максимальную зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от температуры имеют смеси масло-изол и масло-полиизобутилен, а смеси, содержащие в своем составе добавку канифоли, имеют меньшую зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от температуры. Эти данные показывают, что тепловая стабильность масел меньше, чем у смесей. Смесы масло-изол и масло-полиизобутилен по тепловой стабильности приближаются к маслам. Смесы, содержащие канифоль, обладают большей тепловой устойчивостью, чем без нее. Отсюда видно, что канифоль оказывает стабилизирующее действие на смеси углеводородов при действии на них температуры при доступе кислорода воздуха.

Если рассматривать процессы старения, происходящие в маслах и в их смесях с загустителями, как процессы химических превращений углеводородов, то следует ожидать появления реакции окисления. Процессы старения проводились с доступом кислорода воздуха при температуре 120°C , достаточной для того, чтобы процессы окисления углеводородов протекали с большой скоростью. Поэтому добавка веществ, способных замедлять реакцию окисления, должна вызвать замедление процесса старения.

Как показали исследования, канифоль обладает этой способностью, возможно, благодаря наличию в ней двойных связей или присутствия в ней других химических соединений, служащих ингибиторами, т. е. веществами, замедляющими процесс окисления.

Известно, что масла и полимерные высокомолекулярные углеводороды алифатического ряда типа полиизобутилена чувствительны к окислению, а следовательно, и к действию температуры, поэтому важно было исследовать смеси масел с полимерными углеводородами и эти смеси с добавкой канифоли. При этом выяснилось, что добавка канифоли может быть небольшой, всего около 5%, чем устраняется основной их недостаток.

При 50 и 80°C зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от температуры до и после старения смеси масло-полиизо-

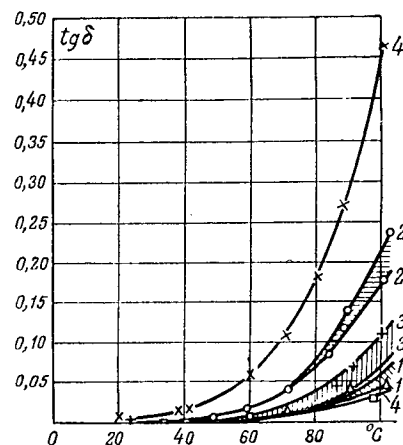


Рис. 4. Температурная зависимость $\operatorname{tg} \delta$ в состоянии поставки и после 14 суток старения при 120°C .

1-1—масло-полиизобутилен-канифоль; 2-2—масло-канифоль на брайтстоке № 1; 3-3—масло-канифоль на брайтстоке № 3; 4-4—масло-полиизобутилен.

бутилен-канифоль дает значительную разницу в абсолютных значениях $\operatorname{tg} \delta$ и более резкое изменение $\operatorname{tg} \delta$ от температуры после старения у смеси масло-полиизобутилен (рис. 4). Это показывает на большое стабилизирующее свойство канифоли.

В настоящее время крайне затруднительно ответить на вопрос, почему при применении более вязких брайтстоков получаются лучшие характеристики $\operatorname{tg} \delta = f(t)$ после теплового старения. Лучшие начальные характеристики в этих смесях получаются за счет меньшего в них содержания канифоли. Хорошие результаты, полученные у этих смесей после теплового старения, можно объяснить высоким качеством образцов вязких брайтстоков, полученных нами для экспериментальных работ.

Температурная зависимость $\operatorname{tg} \delta$ от теплового старения при 120°C , показывает (рис. 3), что у смесей масло-полиизобутилен-канифоль на брайтстоке № 1 разницы в величине $\operatorname{tg} \delta$ в состоянии поставки и после старения в течение 14 суток нет. У смеси масло-канифоль на брайтстоке № 3 после 14 суток старения $\operatorname{tg} \delta$ с температурой в интервале до 100°C изменяется также меньше, чем в состоянии поставки (рис. 2).

Процессы окисления, которые приводят к образованию содержащих кислород соединений в углеводородах, способствуют накоплению молекул с более подвижными в электрическом поле группами атомов, что, в свою очередь, вызывает увеличение $\operatorname{tg} \delta$ и более резкую зависимость потерь от температуры. Из этих кривых видно, что абсолютное значение $\operatorname{tg} \delta$ для различных смесей различно, причем смеси масло-полиизобутилен и масло-полиизобутилен-канифоль имеют минимальные потери, а масло-канифоль имеет более высокие потери, кроме того, с повышением температуры указанная разница в величине $\operatorname{tg} \delta$ возрастает.

Определение диэлектрической проницаемости до старения и после старения в течение 14 суток

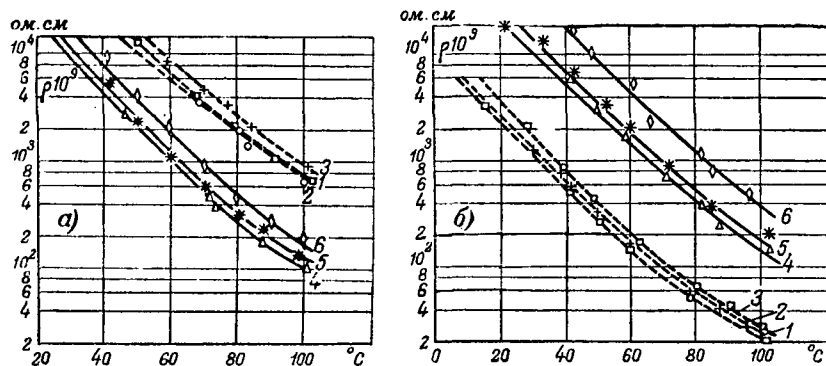


Рис. 5. Температурная зависимость удельного сопротивления масел и смесей в состоянии поставки и после 14 суток старения при 120° С. а — состояние поставки; б — после 14 суток старения при 120° С; 1 — брайтсток № 1; 2 — то же № 2; 3 — то же № 3; 4 — масло-канифоль на брайтстоке № 1; 5 — то же на брайтстоке № 2; 6 — то же на брайтстоке № 3.

при 120° С показало, что она у всех смесей существенно не изменяется. Необходимо лишь отметить, что диэлектрическая проницаемость у смесей, содержащих в качестве загустителей синтетические высокополимерные углеводороды, несколько ниже, чем у смесей масло-канифоль. Это видно из табл. 4.

Таблица 4

Измерения диэлектрической проницаемости смесей

Наименование смеси	Диэлектрическая проницаемость	
	состояние поставки	после 14 суток старения при 120° С
Масло-полиизобутилен-канифоль	2,21	2,27
Изол-канифоль	2,31	2,27
Масло-канифоль на брайтстоке № 3	2,3	2,3
Масло-полиизобутилен	2,17	2,18
Масло-изол	2,21	2,21
Масло-канифоль	2,31	2,31

Электрическое сопротивление. Исследование удельного объемного сопротивления масел и смесей производилось также непосредственно после изготовления последних и после старения при 120° С в течение 14 суток. На рис. 5 и 6 показано изменение удельного объемного сопротивления масел с различной вязкостью и у различных смесей на этих маслах. Из рисунков видно, что удельное объемное сопротивление резко уменьшается с температурой, что наблюдается как у масел, так и у смесей масло-канифоль. В состоянии поставки абсолютные значения удельных сопротивлений у масел выше, чем у смесей. После старения, уже через двое суток, сопротивления у масел становятся равными соответствующим величинам у смесей. После 5 и 9, а особенно после 14 суток старения, абсолютное значение сопротивления у масел значительно ниже, чем у смесей.

На рис. 6 показан температурный ход удельного сопротивления после старения смесей, в состав которых введены синтетические высокополи-

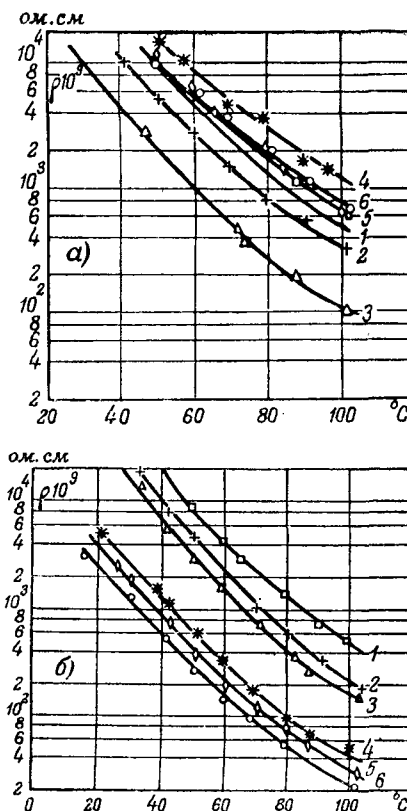


Рис. 6. Температурная зависимость удельного сопротивления масла и смесей в состоянии поставки и после 14 суток старения при 120° С. а — состояние поставки; б — после 14 суток старения при 120° С; 1 — масло-полиизобутилен-канифоль; 2 — масло-изол-канифоль; 3 — масло-канифоль; 4 — масло-полиизобутилен; 5 — масло-изол; 6 — брайтсток № 1.

мерные углеводороды в качестве загустителей, а канифоль как стабилизирующая присадка.

Из рисунков видно, что смесь масло-полиизобутилен-канифоль имеет более высокое значение удельного сопротивления в диапазоне температур от 20 до 100° С после термического старения. Достаточно указать, что удельное сопротивление смеси масло-полиизобутилен-канифоль после 14 суток старения при 20° С имеет 10^{14} ом·см, при 100° С — 10^{12} ом·см, в то время как смесь масло-изол-канифоль при тех же температурах имеет сопротивление 10^{13} и 10^{11} ом·см. Это показывает, что введение в качестве загустителя изола (т. е. полиизобутилена с малым молекулярным весом, который всегда содержит примеси других углеводородов) значительно сказывается на качестве смеси.

Деструктурированный полиизобутилен, входящий в состав смеси масло-полиизобутилен-канифоль, является более однородным и чистым веществом, не содержащим примесей других углеводородов, что позволяет получать смеси с более высоким удельным электрическим сопротивлением.

Обращает на себя внимание резкое влияние канифоли на удельное сопротивление смесей. В состоянии поставки, смеси, содержащие канифоль, имеют несколько меньшее удельное сопротивление, чем без канифоли, однако даже после

двухсуточного старения, и особенно после 14 суток старения, удельное сопротивление у смесей с присадкой канифоли остается сравнительно высоким, в то время как без присадки канифоли оно значительно снижается. Так, например, смесь масло-полиизобутилен-канифоль после 14 суток старения при 120°С имеет сопротивление при 20°С 10^{14} и при 100°С 10^{12} ом·см, а масло-полиизобутилен соответственно 10^{13} и 10^{11} ом·см.

Такая же закономерность наблюдается для смесей масло-изол-канифоль и масло-изол.

Электрическая прочность. Электрическая прочность смесей на переменном токе при 50 Гц, определенная с помощью нормальных разрядников с диаметром электродов 20 мм и расстоянием между ними в 2,5 мм, приведена в табл. 5.

Таблица 5

Пробивное напряжение различных смесей

Наименование смесей	Пробивное напряжение смесей при расстоянии между электродами 2,5 кв/мм				
	Образцы				Среднее значение из четырех образцов
	1	2	3	4	
Масло-изол	47,8	47,2	43,8	44,4	45,8
Масло-изол-канифоль	43	47,6	45,4	45	46,5
Масло-полиизобутилен	44,8	45,4	43,6	46	44,95
Масло-полиизобутилен-канифоль . . .	47,2	46,6	47,75	45,4	46,7
Масло-канифоль на брайтстоке № 1	52,4	47,8	51,2	54,7	51,5
Масло-канифоль на брайтстоке № 3	54,5	50	54	50,5	52,2

Исследование смесей на газопоглощение и газовыделение после действия на них электрического поля показало, что смеси с синтетическими загустителями выделяют газ.

Введение канифоли резко увеличивает поглощение газа в маслах и смесях с синтетическим загустителем. У смесей масло-полиизобутилен-канифоль и масло-изол-канифоль газопоглощение выражено менее резко. Причины такого различного поведения смесей в электрическом поле следует искать в более высокой неопределенности смесей, содержащих канифоль. Как было показано выше, иодное число смесей, содержащих канифоль и синтетический загуститель, в три раза больше, чем у смесей с теми же синтетическими загустителями, без канифоли. Смесь масло-канифоль имеет в 8 раз большее иодное число по сравнению со смесями масло-изол и масло-полиизобутилен.

Вероятно, при действии электрического поля выделяющийся водород присоединяется по месту двойных связей с образованием насыщенных продуктов. Такой механизм процесса подтверждается снижением иодного числа у смесей, подвергнутых действию электрического поля в водороде.

Исследование смесей масел с различными загустителями на образцах пропитанной кабельной бумаги и на моделях. Для определения поведения смесей масел с различными загустителями было произведено исследование их в смесях, пропитывающих кабельную бумагу, т. е. на образцах пропитанной кабельной бумаги и на моделях.

Было проведено: а) исследование кривой жизни смесей на моделях; б) получение кривых ионизации смесей на моделях и определение начальной точки ионизации на пропитанной кабельной бумаге.

Таблица 6

Кривые жизни макетов, пропитанных различными смесями

Наименование пропиточных веществ	Время выдержки и средний пробивной градиент, кв/мм	Результаты измерения						
		На подъеме	1	8	12	17	40	
Масло-полиизобутилен-канифоль	Время выдержки напряжения, мин	На подъеме	1	8	12	17	40	640
	Средний пробивной градиент, кв/мм	28	26	24	22	22	21,5	21
Масло-канифоль на брайтстоке	Время выдержки напряжения, мин	На подъеме	3	7	12	32	1250	
	Средний пробивной градиент, кв/мм	31	28	26	25	24	23	
Масло-канифоль на брайтстоке № 3	Время выдержки напряжения, мин	На подъеме	1	6	19	45	600	
	Средний пробивной градиент, кв/мм	35	32	28	26	25	24	
Масло-полиизобутилен	Время выдержки напряжения, мин	На подъеме	5	8	3	23	107	225
	Средний пробивной градиент, кв/мм	29	26	24	24	23	21,5	20
Масло-изол	Время выдержки напряжения, мин	На подъеме	1	20	40	65	128	250
	Средний пробивной градиент, кв/мм	24	23	19	18	17	16	45

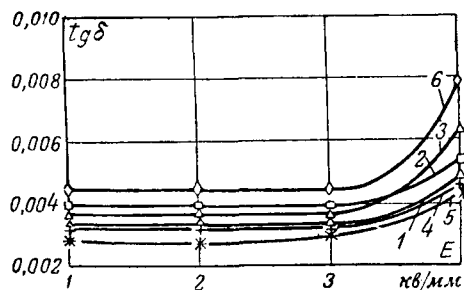


Рис. 7. Кривые ионизации смесей.

1 — масло-полиизобутилен-канифоль; 2 — масло-изол-канифоль; 3 — масло-канифоль на брайтстоке № 1; 4 — то же на брайтстоке № 3; 5 — масло-полиизобутилен; 6 — масло-изол.

Исследование макетов, пропитанных различными смесями. Определение $U_{пр} = f(t)$ макетов, пропитанных различными смесями, производилось следующим образом: были изготовлены цилиндрические макеты, которые имели общую длину 74 мм, длину станиколевой обкладки 115 мм, диаметр медной трубки 114 мм. Внешний диаметр макета, пропитанного смесью, 15 мм; толщина изоляции 0,5 мм на сторону.

Макеты перед испытанием проходили следующий технологический режим обработки: сушка при 120°С в течение 12 час, из них 4 часа при нормальном давлении и 8 час в вакууме при остаточном давлении 5 мм рт. ст. Высушенный макет пропитывался смесью, разогретой до 120°С. При этой температуре смесь заливки выдерживалась в течение 20 мин, макет в смеси под вакуумом при температуре 120°С выдерживался 1 час. После этого вакуум и обогрев снимались и макет в смеси выдерживался в течение 6 час.

У пропитанных по указанному режиму макетов снималось

$$U_{пр} = f(t).$$

Результаты полученных данных приведены в табл. 6.

Из приведенной таблицы видно, что лучшие результаты получены для смеси масло-канифоль на вязком брайтстоке № 3 и несколько более низкие пробивные градиенты для смеси масло-полиизобутилен-канифоль и масло-полиизобутилен. Однако у всех смесей полученные величины пробивных напряжений остаются высокими.

Определение ионизации макетов, пропитанных различными смесями. Для определения иониза-

ции смесей были изготовлены макеты по методике, описанной выше.

Данные ионизации, полученные в результате экспериментов, приведены на рис. 7.

Из приведенных кривых видно, что смеси масло-полиизобутилен-канифоль и масло-канифоль на брайтстоке № 3 обладают меньшими значениями $\text{tg } \delta$, чем другие испытанные смеси. Это преимущество особенно хорошо выявляется при высоких градиентах. Рост угла диэлектрических потерь от напряжения у всех смесей наблюдается при напряженности выше 3 кВ/мм.

Выводы. 1. Вискозиметрические исследования образцов различных смесей масло-полиизобутилен установили зависимость между количеством полиизобутилена в масле и вязкостью получаемых смесей.

2. Доказано стабилизирующее свойство канифоли на масла типа брайтсток с синтетическими загустителями. Экспериментально выявлено, что достаточно ввести 5...7% канифоли в масло, чтобы резко повысить его стабильность к тепловому старению и действию высоких электрических полей.

3. Изучение смеси масло-полиизобутилен-канифоль, а также смесей масло-канифоль на вязком масле (брайтсток № 3) показало высокие электрические и физико-химические характеристики этих смесей.

4. Смеси масло-полиизобутилен-канифоль и масло-изол-канифоль обладают большей термостабильностью и устойчивостью к действию электрического поля, чем смеси масло-полиизобутилен и масло-изол.

5. Длительное определение воскообразования при переменном токе частотой 50 гц может быть заменено весьма кратковременным аналогичным испытанием на высокой частоте.

6. Обе разработанные смеси имеют:

а) меньшую зависимость $\text{tg } \delta$ от температуры, чем у масло-канифольной смеси;

б) удельное объемное сопротивление у смесей масло-полиизобутилен-канифоль и масло-изол-канифоль выше и меньше зависит от температуры, чем у смеси масло-канифоль. Указанные смеси обладают достаточной стабильностью в электрическом поле.

[10. 9. 1952]



Опыт эксплуатации передвижных тяговых подстанций

Доцент Г. М. СЕХНИАШВИЛИ

Тбилиси

Передвижные тяговые подстанции напряжением 3300 и 1650 в со стороны постоянного тока и 6, 10, 35 и 110 кВ со стороны переменного тока были созданы в начале Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. работниками Закавказской железной дороги.

Первая передвижная тяговая подстанция была запроектирована Проектным бюро службы электрификации Закавказской железной дороги в начале 1942 г. и смонтирована в течение 5 мес. вторым участком энергоснабжения службы электрификации той же дороги. Ввод ее в эксплуатацию состоялся 1 сентября 1942 г.

Передвижная тяговая подстанция состоит из двух частей: закрытой и открытой. Закрытая часть размещена в переоборудованном прицепном вагоне электросекции серии С^Д, в котором установлен ртутно-выпрямительный агрегат типа РВ 20/30 мощностью 2000 кВт, напряжением 3300 в со стороны постоянного тока.

Трансформатор собственных нужд подстанции присоединен к вторичной обмотке силового трансформатора. Аккумуляторная батарея расположена под вагоном.

Использование для закрытой части подстанции просторного вагона электросекции С^Д обеспечило наиболее удобное размещение оборудования и наилучшие условия для работы обслуживающего персонала, что является существенным преимуществом данной подстанции.

Открытая часть подстанции напряжением 110 кВ смонтирована на одной четырехосной платформе, а подстанции 35 кВ — на двухосной. Первая состоит из силового трансформатора, выключателя ВМ-125, разъединителя для наружной установки и ошиновки, вторая — из силового трансформатора, выключателя ВМ-35Н и разъединителя для наружной установки. Если подстанция питается от сети 6 или 10 кВ, то в открытой части подстанции 35 кВ заменяется лишь силовым трансформатором.

Особенностью рассматриваемой передвижной подстанции является то, что ее открытая часть и закрытая часть могут быть легко разобраны и

Излагается история создания и опыт эксплуатации передвижных тяговых подстанций, предназначенных для электрифицированных участков железных дорог. На основе имеющегося опыта предлагается широко использовать передвижные тяговые подстанции в качестве резервных, а также для ускорения перевода участков железных дорог на электрическую тягу.

использованы отдельно одна от другой. Например, в случае необходимости закрытую часть можно использовать для замены ртутного выпрямителя, а открытую — для замены силового трансформатора на стационарной подстанции.

Эта особенность рассматриваемой подстанции, как показал опыт эксплуатации, имеет большую практическую ценность. Благодаря ей можно иметь резерв с минимальным числом единиц оборудования и, следовательно, уменьшить затраты и сэкономить оборудование и материалы.

На рис. 1 показаны план и продольный разрез закрытой части первой передвижной подстанции Закавказской железной дороги, на рис. 2 — схематический чертеж передвижной тяговой подстанции 110 кВ, а на рис. 3 — схематический чертеж подстанции 35 кВ.

С самого начала эксплуатации и до настоящего времени, т. е. в течение почти 11 лет, эта первая передвижная подстанция работает бесперебойно. В течение первых полутора лет она использовалась в качестве резервной, а затем нашла широкое применение на вновь сооружавшихся электрифицированных участках железной дороги, так как ввод в действие стационарных подстанций этих участков по тем или другим причинам запаздывал.

Таким образом, передвижная тяговая подстанция может быть использована не только в качестве весьма гибкого и дешевого резерва; с ее помощью в ряде случаев можно сократить срок ввода в действие электрифицированного участка железной дороги.

После освоения описанной нами подстанции в 1943 г. Закавказской железной дорогой были запроектированы и смонтированы еще три передвижные подстанции, предназначавшиеся для временной замены стационарных подстанций, ввод в действие которых запаздывал. Эти подстанции были введены в эксплуатацию с 1944 г. Одна из них работала до 1950 г. (до ввода в эксплуатацию стационарной подстанции), а две продолжают работать по настоящее время.

Практика эксплуатации передвижных подстанций доказала возможность применения во многих

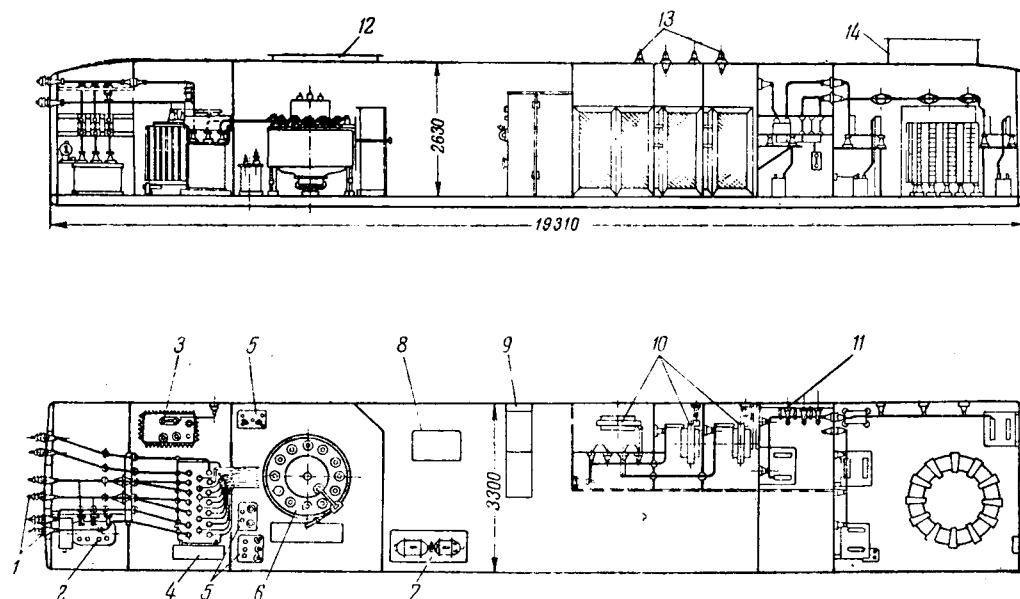


Рис. 1. План и продольный разрез закрытой части передвижной тяговой подстанции.

1—проходные изоляторы вводов вторичной обмотки трансформатора; 2—трансформатор собственных нужд; 3—разделяющая катушка; 4—анодные делители и унравитель частоты; 5—изолированные трансформаторы; 6—ртутный выпрямитель типа РВ 20/30; 7—зарядный мотор-генератор; 8—стол дежурного; 9—щит управления; 10—распределительное устройство постоянного тока 3 300 в; 11—помещение фильтрующего устройства; 12—люк для выемки ртутного выпрямителя; 13—выводы отходящих питающих линий; 14—резервуар с водой.

случаях одноагрегатных тяговых подстанций, она показала всю несостоятельность опасений, что одноагрегатные подстанции окажутся недостаточно надежными вследствие отсутствия на них резервных агрегатов. Современные ртутные выпрямители, выпускаемые нашей промышленностью, таковы, что имеется полная возможность осуществить их бесперебойную работу.

Время для производства ревизий оборудования и аппаратуры на одноагрегатных подстанциях также можно выделить без ущерба для движения поездов.

Для примера приведем некоторые данные, относящиеся к эксплуатации описанной нами одноагрегатной, передвижной подстанции. В 1950 г. эта подстанция проработала 8 630 час, а в 1951 г. — 8 624 часа, т. е. в среднем ежемесячно 719 час.

В течение 1950 г. на подстанции произошло 11 обратных зажиганий, в 1951 г. — 4, а за 5 мес. текущего года всего лишь 1. Обратные зажигания ни в одном случае не привели к выводу агрегата из работы и к задержке движения поездов.

Для производства необходимых ревизий и ремонтов подстанция в общей сложности останавливалась в 1950 г. на 130 час, а в 1951 — на 136 час, т. е. ежемесячно в среднем на 10...

11 час. При этом не было причинено никакого ущерба движению поездов.

Применение одноагрегатных тяговых подстанций (имеется в виду обычная, не распределенная схема питания) во многих случаях сократит капитальные затраты и расход материалов при электрификации новых участков железных дорог, а также резко повысит коэффициент использования установленной мощности, который в настоящее время зачастую не превышает 0,25.

На основании опыта Закавказской железной дороги Главное управление электрификации МПС в 1950 г. организовало заводское изготовление передвижных тяговых подстанций напряжением 35 и 6 кВ со стороны переменного тока. На этих подстанциях устанавливаются преобразователи типа РМНВ — 500 × 6 мощностью 1 650 квт.

Две такие передвижные подстанции были использованы для совместной работы на одном вновь электрифицированном участке взамен стационарной подстанции. Применение передвижных подстанций в данном случае и установка их в таком месте, которое отвечает всем требованиям нормальной эксплуатации, позволило сэкономить около 2 млн. руб.

Следует отметить, что вначале в рассматриваемом случае была установлена только одна подстанция. Но ввиду того, что максимальные нагрузки оказались выше допустимых для агрегата, пришлось установить еще одну передвижную подстанцию. За месяц интенсивной работы обе подстанции преобразовали до 460 тыс. квтч электроэнергии, а за интенсивные сутки — до 19 тыс. квтч. В среднем в месяц передвижные подстанции работали

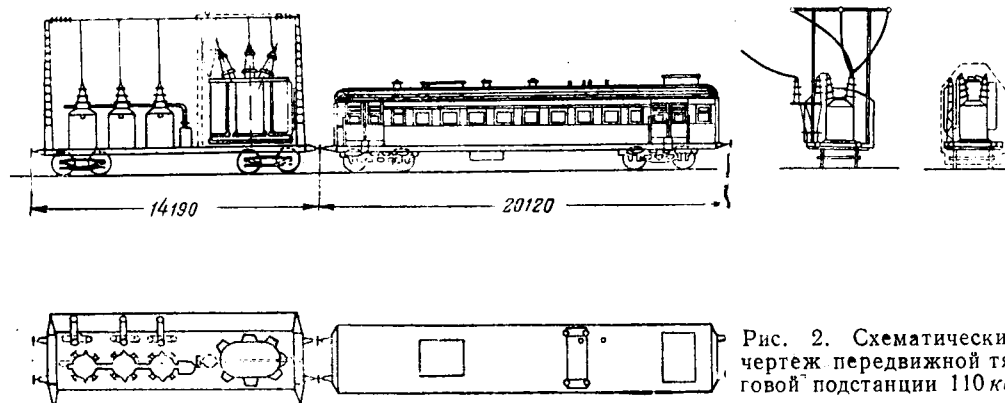


Рис. 2. Схематический чертеж передвижной тяговой подстанции 110 кв.

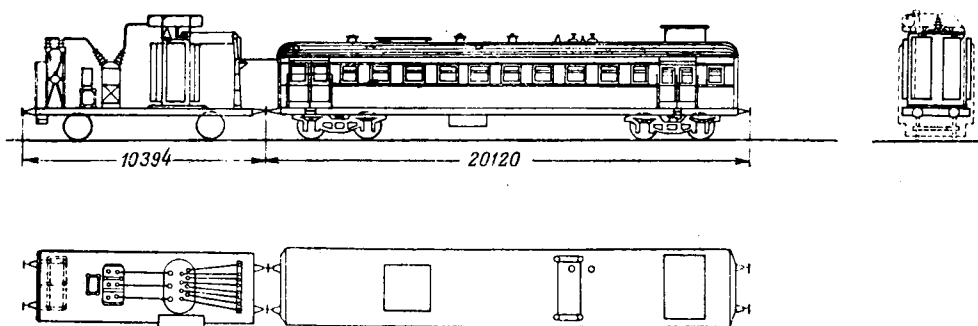


Рис. 3. Схематический чертеж передвижной тяговой подстанции 35 кв.

одновременно по 30 ... 35 час. На одной из них дежурили электрик и помощник электрика, а на другой — только электрик.

В целях более эффективного использования передвижных тяговых подстанций следует свести к минимуму случаи установки в одном пункте двух подстанций. Для этого необходимо на вновь выпускаемых подстанциях применять преобразователи большей мощности, чем применяемый в настоящее время преобразователь типа РМНВ—500×6 мощностью 1 650 квт.

При установке на передвижной подстанции ртутного выпрямителя, состоящего из группы одноанодных вентилях, следует предусматривать формовочно-резервный стенд с двумя запасными вентилями для того, чтобы иметь возможность быстро заменить вентиль основного агрегата в случаях выхода его из работы.

В тех случаях, когда тяговая подстанция совмещена с районной подстанцией или когда она имеет число агрегатов более двух и большое число питающих линий постоянного тока, предпочтение следует отдавать стационарной подстанции, так как в этих случаях на ее стороне несомненные преимущества. Таким образом, вопрос о применении передвижных подстанций вместо стационарных должен решаться в зависимости от конкретных условий работы подстанции и с учетом организации строительно-монтажных работ на электрифицируемом участке.

В заключение следует отметить, что в целях максимального сокращения сроков сооружения стационарных тяговых подстанций и, следовательно, ускорения электрификации новых участков железных дорог должно быть в возможно короткие сроки налажено заводское комплектное изго-

товление всех узлов тяговых подстанций, включая распределительные устройства высокого напряжения, щиты управления и автоматики, сглаживающие устройства, силовые и контрольно-измерительные кабели и пр. Это даст возможность свести к минимуму объем монтажных работ на месте.

До разрешения же этой задачи передвижные тяговые подстанции должны быть широко использованы для сокращения сроков перевода на электрическую тягу участков железных дорог.

Весьма важным является изготовление для тяговых подстанций как передвижных, так и стационарных трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой.

Выводы. 1. Передвижные тяговые подстанции должны широко применяться не только в качестве резерва стационарных подстанций, но и для временной замены стационарных подстанций на вновь электрифицируемых участках железных дорог в целях ускорения перевода их на электрическую тягу.

2. Опыт эксплуатации передвижных тяговых подстанций доказал возможность и целесообразность применения во многих случаях одноагрегатных тяговых подстанций. При переходе к одноагрегатным подстанциям следует предусматривать установку формовочно-резервного стенда.

3. В ряде случаев, в особенности при наличии на электрифицированных линиях резервных передвижных подстанций, установка резервных агрегатов на всех тяговых подстанциях является излишней, вызывает значительное удорожание энергоснабжения и нерациональное использование ценного оборудования.

[9. 6. 1952]



Об установлении академиком В. В. Петровым закономерности в электрической цепи

К 150-летию выхода в свет „Известие о гальвани-вольтовых опытах“

Научные труды В. В. Петрова были настолько обширны и разнообразны, что, несмотря на значительное число работ, посвященных его творчеству, некоторые важные наблюдения и исследования В. В. Петрова по электричеству еще не нашли полного осознания и должной оценки. К числу таких работ относятся исследования, приведшие В. В. Петрова к установлению одной из важнейших закономерностей электрической цепи — зависимости между током в проводнике и площадью его поперечного сечения.

В своей замечательной книге «Известие о гальвани-вольтовых опытах», опубликованной в 1803 г., В. В. Петров исследует также вопросы, относящиеся к электрической цепи. Он убедительно показывает, какое важное значение для действия «гальвани-вольтовой жидкости» (электрического тока. — Я. Ш.) имеют помимо самой гальванической батареи соединительные проводники, составляющие замкнутую электрическую цепь. Он описывает различные проводники, употреблявшиеся им для опытов: «обыкновенные» или выкаленные на горячих углях медные, железные, оловянные, серебряные и золотые проволоочки и проводники, изолированные воском или сургучом.

Но В. В. Петров — и в этом одна из его больших заслуг перед электротехникой — не ограничивается качественной характеристикой проводников, замыкающих электрическую цепь. Он делает первые шаги по установлению количественных закономерностей в электрической цепи. Он совершенно четко указывает на зависимость скорости движения «гальвани-вольтовой жидкости» и силы ее действия от площади поперечного сечения проводника.

В главе об электролизе различных жидкостей В. В. Петров отмечает, что часто употребляемая в качестве соединительных проводников «серебряная клиппель» (тонкая серебряная проволоочка, навитая на шелковую нитку) бывает иногда настолько тонка, что становится негодной для употребления. Тогда для получения «сильного действия и весьма скорого движения гальвани-вольтовой жидкости» необходимо употреблять более толстую проволоочку.

В. В. Петров писал об этом следующее: «И поелику серебряная клиппель часто бывает столь тонка, что она составляет только четвертую или пятую долю линии (т. е. около 0,5 мм. — Я. Ш.), то и надобно сзывать ее вчетверо и даже вшестеро для получения сурка в одну только линию толщиною, каковая нужна для всех опытов, требующих сильного действия и весьма скорого движения гальвани-вольтовой жидкости: поелику я заметил, что при всех прочих одинаковых обстоятельствах происходит весьма великое различие в следствиях опытов тогда, когда гальвани-вольтовая жидкость протекает по металлическим проводникам большего и меньшего состава (massa)»¹ (разрядка наша. — Я. Ш.).

Следовательно, В. В. Петров, указывая на существование зависимости между действием электрического тока и сечением проводника, по которому он протекает, устанавливает при этом некоторую количественную взаимосвязь: он подчеркивает, что при увеличении сечения проводника ток возрастает, и рекомендует применять «наипаче толстые» проводники.

Исследуя явления, сопровождающие действия электрического тока, В. В. Петров приходит к выводу о том, при каких условиях возможно прохождение электрического тока через вещества с большим сопротивлением. В книге «Известие о гальвани-вольтовых опытах» В. В. Петров описывает наблюдавшиеся им явления при прохождении электрического тока через различные «выжатые масла, чистейший винный спирт», которые по сравнению с водой являются «худшими проводниками гальвани-вольтовой жидкости». В. В. Петров впервые употребляет термин «сопротивление» для характеристики степени противодействия, которое оказывают различные проводники протекающему в них току, и указывает, что чем больше это сопротивление, тем большее количество «гальвани-вольтовой жидкости» требуется для того, чтобы она смогла пройти через состав этих веществ:

«... вода есть несравненно лучший проводник гальвани-вольтовой жидкости, нежели чистое масло и чистейший винный спирт, которые движению ее делают сильное сопротивление и через состав (massa) которых она может проходить уже тогда, когда количество ее весьма знатно увеличивается»², т. е. В. В. Петров указывает на возможность прохождения электрического тока через вещества с большим сопротивлением лишь при значительном повышении напряжения тока.

Важно отметить, что Василий Владимирович Петров совершенно самостоятельно и впервые пришел к выводу о зависимости «действия гальвани-вольтовой жидкости» от сечения проводника. Не случайно, описывая свое наблюдение, он подчеркивает: «Я заметил», — т. е. ранее об этом он нигде не читал и не слышал. Действительно, во всех изученных нами работах, в том числе и иностранных, нет указаний на установление такой зависимости кем-либо до Петрова.

Ряд исследователей, говоря о предшественниках Ома, обычно указывает на работы известного английского ученого Х. Дэви, относящиеся к 1821 г., и вовсе не упоминают имени В. В. Петрова. Так поступил, например, и П. С. Кудрявцев в своей «Истории физики»³.

В докладе в Лондонском королевском обществе, опубликованном в 1821 г., Дэви, отмечая целый ряд сделанных им открытий, сообщил: «Я нашел ... что электрическая проводимость проволоки ... очень близко изменялась с изменением массы проводника»⁴.

¹ Там же, стр. 151.

² В. В. Петров, Известие о гальвани-вольтовых опытах, стр. 61—62, 1803.

³ П. С. Кудрявцев, История физики. Москва, стр. 399, 1948.

⁴ Philosophical transactions, т. 39, ч. II, стр. 433, 1821.

Но, как было указано выше, В. В. Петров еще в 1803 г., т. е. за 18 лет до Дэви, гораздо полнее определил роль сечения проводника, отметив связь между сечением проводника и протекающим по нему током. Поэтому со всем основанием можно утверждать, что В. В. Петров впервые в мире установил одну из важнейших закономерностей в электрической цепи и по праву может считаться первым среди предшественников Ома, который, четверть века спустя (в 1827 г.), сформулировал известный закон, названный его именем.

Заслуживает внимания тот факт, что даже английский журнал „Science Progress“ в 1936 г. признал заслуги

В. В. Петрова в предвосхищении закона Ома. В статье «Забытый электротехник», помещенной в этом журнале, указывается: „Петров также открыл влияние размеров поперечного сечения проволоки... Петров определенно установил, что... более толстые проволоки более эффективны по сравнению с проволоками меньшего поперечного сечения, предвосхитив этим закон Ома“.

Инж. Я. А. ШНЕЙБЕРГ
Московский энергетический институт
им. Молотова

Science Progress, Лондон, стр. 288, № 122, XXXI, 1936.



К вопросу об истории изучения электрических свойств углерода

Углерод в виде графита различной дисперсной структуры как в чистом виде, так и вместе с другими веществами является одним из весьма распространенных материалов в электротехнике, причем применение его как токопроводящего материала было начато очень давно. Уже в работах В. В. Петрова, открывшего явление электрической дуги, использовались для получения разряда угля. В дальнейшем углеродистые материалы применялись П. Н. Яблочковым в его электрических свечах.

Широкое и все возрастающее распространение углеродосодержащих материалов в электротехнике и приборостроении (например, для непроволочных сопротивлений как поверхностного, так и объемного типов, щеток электрических машин и т. п.), а также проникновение электрических методов обработки и исследований в металлургическую и горную промышленность, вызвали к жизни ряд работ по изучению электрических свойств углерода, которые продолжаются и до сих пор. Следует, например, отметить исследование Б. В. Минцом зависимости электропроводности углеродосодержащих материалов от температуры [Л. 4]. Применительно к приборной технике этот же вопрос изучался Н. Н. Шумиловским [Л. 5]. Из работ самых последних лет интересными являются статьи А. А. Агроскина и И. Г. Петренко [Л. 1, 2].

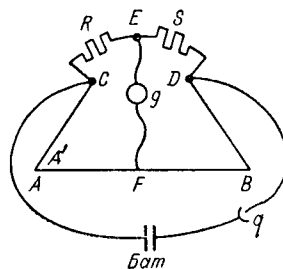
Широкое применение углерода как электротехнического материала было начато в России уже в конце XIX века (электрические лампы накаливания с угольной нитью А. Н. Лодыгина в 1873 г.; угольный порошок для телефонных микрофонов Махальского в 1879 г. и др.).

В 1877 г. в Петербурге вышла в свет монография профессора Петербургского университета И. И. Боргмана¹ «О гальваническом сопротивлении углей при различных температурах» (типография В. Демакова, издатель не указан, 32 стр., 1 фигура, тираж не указан, в фондах ГПБ хранится под № 18.122.2.186). В этой работе впервые была экспериментально изучена зависимость сопротивления от температуры ряда углеродосодержащих материалов. Вследствие полного отсутствия в то время опыта по подобным измерениям, И. И. Боргману пришлось преодолеть ряд трудностей для создания методики испытания.

Для измерений им применялась одна из модификаций мостовых схем (что в то время было новинкой). Копия подлинного изображения приводится на рисунке. Очень интересно решен был И. И. Боргманом вопрос о получении хорошего контакта с образцами. Для этой цели он применил электролитическое осаждение меди на угли. Подобный ме-

тод применялся значительно позже А. А. Юргенсом [Л. 6] для контакта с токопроводящим слоем углеродистых сопротивлений и имеет интерес до сих пор как для лабораторных исследований, так и для токонесущих конструкций и деталей.

В результате тщательного эксперимента И. И. Боргман получил данные, часть которых приводится в таблице, очень близкие к тем, которые были получены позднее с применением более совершенной аппаратуры. При анализе результатов И. И. Боргман показал несостоятельность теории электропроводности углей, имевшей распространение среди зарубежных ученых, неправильно связывавших уменьшение



AB — реохорд; E, C, D — ртутные ямочки; q — прерыватель для замыкания и размыкания тока; g — гальванометр; F — передвижная пружинка реохорда. Сравнительные сопротивления включены между EC и ED.

сопротивления при росте температуры с изменением макропористости. В качестве практического вывода И. И. Боргман предлагает применять углеродосодержащие материалы в приборах для измерения температуры, что находит сейчас практическое применение в схемах с термосопротивлениями.

Значение некоторых температурных коэффициентов сопротивления углеродосодержащих материалов по данным И. И. Боргмана

Наименование материала	Интервал температур, °C	Средний температурный коэффициент
Графит алиберовского месторождения *	25—250	—0,00082
Кскс ретортный	26—275,5	—0,00026
Уголь коксовый для освещения	22—290	—0,00025
Антрацит из Донбасса	23—268	—0,00240

* Восточные Саяны, Сибирь.

Ознакомление с иностранной литературой того же периода, посвященной аналогичной теме [Л. 7 и 8], показывает, что за рубежом не проводились подобные широкие экспериментальные исследования; там ограничивались только качественным указанием на уменьшение сопротивления углерода с ростом температуры (что было известно очень давно), к тому же неправильно объясняя этот факт.

¹ Иван Иванович Боргман (24. 2. 1849—17. 5. 1914)—один из первых русских ученых глубоко осветил природу и значение магнитного потока в процессе электромагнитной индукции тока и значение закона магнитной цепи для расчета электромашин. И. И. Боргман—автор конструкции электрического конденсатора, отмеченного премией на Всемирной выставке в Париже в 1881 г.

Все это позволяет с несомненностью установить выдающуюся роль известного русского ученого И. И. Борсмана в изучении электрических свойств углерода и усиливает интерес к его работе [Л. 3].

Литература

1. А. А. Агроскин и И. Г. Петренко. Электросопротивление сланцев и углей при нагревании. Изв. ОН АН СССР, стр. 89—100, № 1, 1950.
2. А. А. Агроскин и И. Г. Петренко. Электросопротивление углей. Изв. ОН АН СССР, стр. 1115—1126, № 7, 1948.
3. И. И. Борсман. О гальваническом сопротивлении углей при различных температурах. СПб, 1877.
4. Б. В. Минц. Электропроводность углеродосодер-

жащих материалов в зависимости от температуры. Цветные металлы, вып. 12, стр. 65, 1940.

5. Н. Н. Шумиловский. Электрические характеристики углей. Автоматика и телемеханика, вып. 4, 1939.

6. А. А. Юргенс. Методы изготовления стабильных высокоомных сопротивлений. Труды ВНИИМ, вып. 2 (56), стр. 116, 1947.

7. W. Beetz. Ueber die Electricitätsleitung durch Kohle und durch Metalloxyde. Annalen der Physik und Chemie. Band 21, № 2, S. 619, 1860.

8. A. Matthiessen. Ueber die elektrische Leitungsfähigkeit der Metalle. Annalen der Physik und Chemie, Band 13, № 3, S. 428, 1858.

Инж. В. М. ЖЕСТЯНИКОВ
Ленинград

Выдающийся физик—профессор О. Д. Хвольсон

К столетию со дня рождения

4 декабря 1952 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Ореста Даниловича Хвольсона, крупного ответственного профессора физики.

Орест Данилович — сын известного академика-ориенталиста профессора С.-Петербургского университета Д. А. Хвольсона — получил высшее образование на математическом отделении Физико-математического факультета, который он окончил в 1873 г., получив золотую медаль за выполненную в студенческие годы работу «О возможных скоростях и условиях равновесия соприкасающихся поверхностей». После окончания университета он слушал в течение года в Лейпцигском университете лекции Карла Неймана по математической физике и некоторые другие лекции по математике и механике.

В 1874 г. Орест Данилович вернулся в Петербургский университет, в котором последовательно защитил магистерскую (1876 г.) и докторскую (1880 г.) диссертации. Начиная с 1876 г., в течение более 50 лет, он читал в университете лекции, занимая должности приват-доцента (1876—1890 гг.), профессора (1890—1901 гг.) и заслуженного профессора (1901—1934 гг.).

В разное время О. Д. Хвольсон преподавал также в других учебных заведениях: на С.-Петербургских высших женских курсах (1890—1899 гг.), в Техническом училище Почтово-телеграфного ведомства и в Электротехническом институте (1886—1893 гг.) и др.

В течение девяти лет, уже имея ученую степень доктора, Орест Данилович состоял ассистентом (по тогдашней терминологии лаборантом) Физического кабинета Академии наук, сотрудником академика Вильда (1884—1893 гг.). По собственному признанию Ореста Даниловича его общение с академиком Вильдом имело большое влияние на тематику его научных работ.

Число научных работ Ореста Даниловича около сотни¹; они охватывают почти все отделы физики; среди них встречаются как теоретические, так и экспериментальные исследования. Половина работ приходится на работы по электричеству и магнетизму, в том числе диссертации «О механизме магнитной индукции стали» (1876 г.) и «О

магнитных успокоителей» (1880 г.). Из числа оптических работ Хвольсона особо замечательны его экспериментальные и теоретические исследования внутренней диффузии света. В работе «Основы математической теории внутренней диффузии света» (1889 г.) Орест Данилович пользуется интегральным уравнением. Это одно из самых ранних использований интегральных уравнений; оно было сделано Хвольсоном задолго до построения общей теории интегральных уравнений.

Большой интерес представляют работы Хвольсона по изучению и измерению солнечного излучения. Построенные Орестом Даниловичем актинометр и пиргелиометр долгое время были самыми надежными и лучшими измерителями солнечной энергии («солнечной постоянной») и состояли на вооружении русских метеорологических станций.

Последние 38 лет жизни Ореста Даниловича (1895—1934 гг.) были посвящены главному делу его жизни: составлению большого шеститомного курса физики, о котором будет сказано особо. Тем не менее он и после 1896 г. не переставал откликаться хотя бы короткими работами на все возникавшие проблемы физики: о сравнении метра с длиной световой волны (1904 г.), об атомных весах (1915—1916 гг.), о структуре атомного ядра (1921 г.), об одной возможной форме фиктивных двойных звезд (1924 г.) и др.

В числе учеников Ореста Даниловича был Л. С. Коллат-Червинский, известный русский исследователь радиоактивных явлений.

Научные работы О. Д. Хвольсона создали ему известность, но все же не в них было главное содержание жизни Ореста Даниловича. Он был педагог по призванию, педагог исключительный. Именно эта сторона деятельности Хвольсона создала ему всероссийскую, а затем и мировую известность.

Наряду с огромной эрудицией и большими знаниями во всех областях физики Орест Данилович обладал блестящим лекторским талантом. Лекций были его стихией. Он любил преподавать и отдавал этому делу все свои силы и незаурядную трудоспособность. Лекции его всегда были тщательно подготовлены и продуманы. Это относилось и к каждой отдельной лекции и ко всему курсу в целом. Все было соразмерно. Внимание слушателей все время было приковано к лектору, который тщательно следил за на-

¹ Составленный О. Д. Хвольсоном неполный список работ содержит 36 названий. Список приведен в конце статьи.

строением аудитории и держал ее в должном напряжении. Слушатели испытывали высокое художественное наслаждение; вместе с тем излагаемое врезалось в их память твердыми и ясными штрихами.

Неудивительно, что лекции О. Д. Хвольсона до глубокой его старости сопровождал успех: его аудитория была заполнена слушателями до отказа. «Слушать Хвольсона» приходили студенты со всего университета и, начав слушать курс, уже не прекращали посещений.

Работа Хвольсона по популяризации науки огромна. В молодые годы он читал серии популярных лекций, посвященных определенной проблеме или отделу науки. Обыкновенно такие серии потом печатались в виде книг. Таковы, например: «Популярные лекции об электричестве и магнетизме» (1884 и 1886 гг.), «Об абсолютных единицах, в особенности магнитных и электрических» (1887 г.), «Об основных гипотезах физики» (1887 г.).

В работах О. Д. Хвольсона заметна была его близость в смысле философских представлений к идеализму Канта. Владимир Ильич Ленин в своем труде «Материализм и эмпириокритицизм» отметил реакционность философских взглядов Хвольсона в связи с печатным выступлением последнего в 1906 г. против немецкого естествоиспытателя Э. Геккеля, нанесшего книгой «Мировые загадки» чувствительный удар по идеализму в естествознании. Ленин подверг резкой и уничтожающей критике позицию, занятую Хвольсоном².

Замечание В. И. Ленина о том, что «Новая физика свихнулась в идеализм, главным образом, именно потому, что физики не знали диалектики»³ полностью раскрывает и главный недостаток О. Д. Хвольсона, мировоззрение которого в дореволюционные годы базировалось на ошибочных идеалистических концепциях.

Для читателей журнала «Электричество» представит интерес то обстоятельство, что О. Д. Хвольсон принадлежал к лицам, вступившим в число членов Электротехнического (VI) отдела Русского технического общества с самого начала его деятельности. В 1889 г. он был введен в состав редакции журнала «Электричество», в котором он деятельно сотрудничал в течение ряда лет.

Большая и серьезная работа над лекциями, естественно, привела Ореста Даниловича к мысли о составлении фундаментального курса физики, стоящего на уровне современной науки и обстоятельно, в нескольких томах, излагающего достижения как экспериментальной, так и теоретической физики. Такого всеобъемлющего курса на русском языке в тот период не существовало. При быстром развитии физики, при крайнем усложнении ее содержания самая возможность написания такого курса одним лицом представлялась сомнительной. Однако Орест Данилович решился на этот подвиг. В 1890 г. была издана книга «Учение о движении и о силах», составленная по стенограммам лекций Хвольсона и излагавшая механический отдел физики. Книга имела большой успех и уже в 1893 г. вышла вторым изданием.

В 1895 г. Орест Данилович фактически приступил к работе над большим курсом физики, не имея перед собой никакого образца для помощи в планировании материала. Ранние курсы или устарели и не удовлетворяли поставленной задаче (курсы Петрушевского, Зилова, Шимкова), или решали задачу только для одного отдела физики (курс проф. И. И. Борзмана «Основания учения об электрических и магнитных явлениях»). Попытки отдельных ученых, предпринимавшиеся тогда у нас и за границей с целью создать современный курс физики, не доводились авторами до конца.

О. Д. Хвольсон, однако, блестяще справился с поставленной задачей: в 1897 г. вышло первое издание первого тома, а через 29 лет в 1926 г. вышел последний (шестой дополнительный) том. Курс О. Д. Хвольсона сразу обратил на себя общее внимание. В нем сказались все черты таланта Ореста Даниловича, при этом создание курса одним лицом придало курсу особую цельность и преемственность изложения всех частей.

Число литературных ссылок в курсе Хвольсона колоссально. И поныне сводки литературы, данные Орестом

Даниловичем, не утратили значения для исследователей. Особо следует отметить внимательное и точное изложение им русских работ. Успех и значение курса Хвольсона росли с каждым следующим томом. Русские физики получили энциклопедию своей науки. Томы курса физики Хвольсона многократно переиздавались и до революции и после нее.

Первый том выдержал шесть изданий. Последнее издание, выпущенное автором на 81-м году его жизни в 1934 г., совершенно переработано. Второй и третий тома имели по пяти изданий; четвертый — три издания, пятый — два издания, шестой — одно издание.

Курс Хвольсона был переведен на ряд языков: на немецкий язык (на котором выдержал два издания и было предпринято третье издание), на французский язык (на котором вышло четыре тома и начало пятого), на испанский язык. Предполагались английский и японское издания, но переговоры были прерваны ввиду начавшейся в 1914 г. империалистической войны.

Хвольсон справился с задачей, казавшейся непосильной для одного лица. Только в пятом томе ряд глав написали другие лица: А. П. Афанасьев, К. К. Баумгарт, А. Л. Гершун, А. А. Добиаш, А. Ф. Иоффе, С. Л. Кововрат-Червинский, Д. А. Рожанский, Д. С. Рождественский. Однако эти главы составляют лишь небольшую часть всего курса О. Д. Хвольсона. Шестой том снова целиком был написан О. Д. Хвольсоном.

Интересно, что в самом конце своей жизни Орест Данилович приступил к полной переработке своего курса. К сожалению, эта попытка осталась незаконченной, тяжелая болезнь, а затем смерть (27 мая 1934 г.) оборвали работу.

Идеалистические взгляды, характерные для многих физиков того времени, О. Д. Хвольсону не удалось изжить в полной мере, что естественно снижает общественно полезное значение его трудов по физике.

Совместно с проф. И. И. Боргманом О. Д. Хвольсон принимал деятельное участие в организации нескольких всероссийских съездов естествоиспытателей и врачей, а также первых менделеевских съездов по физике и химии. Особенно блестяще сказались его организаторские способности при подготовке и проведении в декабре 1913 г. I Всероссийского съезда преподавателей физики, химии и космографии, а также при устройстве съезда физиков в Петрограде 4—9 февраля 1919 г.

Орест Данилович Хвольсон руководил организацией Российской ассоциации физиков и был ее первым председателем (1919—1922 гг.), а затем почетным президентом.

О. Д. Хвольсон имел 20 почетных званий, из них 16 отечественных и 4 иностранных.

Два раза Хвольсон получал от Академии наук премию имени Ломоносова.

Советское Правительство высоко оценило деятельность Ореста Даниловича Хвольсона. В 1926 г. в связи с пятидесятилетием научно-педагогической деятельности Хвольсон был награжден орденом Трудового Красного Знамени и ему было присвоено звание Героя Труда.

Память о профессоре О. Д. Хвольсоне надолго сохраняется у его многочисленных учеников, к которым относится и автор этой статьи.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Список научных работ О. Д. Хвольсона

1. Об интерференции не вполне однородного света. Журнал РФО, 1873.
2. Об одном случае разветвления тока в плоской пластинке. ЖРХО, 1874.
3. О механизме магнитной индукции в стали. Спб., 1876. Магистерская диссертация.
4. Об электродинамической теории Эдлунда. *Annal. d. Phys.*, 1878.
5. Разветвление тока в плоской пластинке. *Z. f. Math. u. Phys.*, 1878.
6. О новом ртутном реостате Якоби. *Bull. Acad. de St.-Petersb.*, 1877; *Repertor. d. Physik*, 1878.
7. Влияние прокаливания на гальваническое сопротивление проволок. *Bull. Acad. de St.-Petersb.*, 1878; *Repert. d. Physik*, 1879.
8. О магнитной индукции на двух шарах. ЖФО, 1878; *Ztschr. f. Math. u. Phys.*, 1879.

² В. И. Ленин. Соч., 4-е изд., т. 14, стр. 334.

³ В. И. Ленин. Соч., 4-е изд., т. 14, стр. 248—249.

9. Магнитные колебания при больших размахах. *Mém. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1879.
10. О магнитных успокоителях. Спб., 1880. Докторская диссертация.
11. Влияние давления на гальваническое сопротивление проволоки. *Bull. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1881; ЖФО, 1881; *Repert. d. Physik*, 1882.
12. Влияние растяжения на гальваническое сопротивление проволоки. *Bull. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1882; ЖФО, 1882; *Repert. d. Phys.*, 1883.
13. Взаимодействие двух магнитов. *Mém. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1883; *Repert. d. Phys.*, 1884.
14. О калибровке реостатов. *Annal. d. Phys.*, 1885.
15. Фотометрическое исследование внутренней диффузии света. *Bull. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1886; *Repert. d. Phys.*, 1886.
16. О выводе второй теоремы Кирхгофа. ЖФО, 1888; *Repert. d. Phys.*, 1888.
17. О размере единицы потенциала. ЖФО, 1888; *Repert. d. Phys.*, 1888.
18. О поляризационном фотометре Вильда. Записки Русского техн. общества, 1889.
19. Основы математической теории внутренней диффузии света. *Bull. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1889; *Repert. d. Phys.*, 1889.
20. Зависимость теплопроводности от температуры. *Mém. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1890; *Repert. d. Phys.*, 1889.
21. Об одном случае переменного теплового состояния стержня. Записки физико-математической секции Казанского общества естествоиспытателей, 1890.
22. Прибор для демонстрации внешней и внутренней теплопроводности. ЖФО, 1888.
23. Распределение теплоты в шаре, освещенном с одной стороны. *Mém. de l'Acad. de St.-Petersb.*, 1891; *Repert. d. Phys.*, 1891.
24. Современное состояние актинометрии. *Repert. für Meteorologie*, 1892; *Метеорологический сборник*, 1892.
25. Актинометрические исследования для построения пиргелиометра и актинометра. *Repert. für Meteorologie*, 1893; *Метеорологический сборник*, 1893.
26. Влияние слабо магнитного свода на магнитные приборы. ЖРФО, 1893.
27. Новый актинометр. *Annal. der Phys.*, 1894.
28. Две задачи по теории теплопроводности. *Annal. der Phys.*, 1894.
29. Актинометрические исследования, произведенные в Константиновской обсерватории в Павловске. *Метеорологический вестник*, 1894.
30. Наблюдения над солнечной радиацией. *Report of the internat. Meteorol. Congress held at Chicago. Washington*, 1896.
31. Об одном свойстве токовых линий в однородной среде. ЖФО, 1899.
32. Теория опыта Ричи. Сборник в память Ф. Ф. Петрушевского, 1904.
33. О сравнении метра с длиной световой волны. *Boltzmann—Festschrift*, 1904.
34. *Sur les poids atomiques*. Известия Академии наук, 1915; Известия Казанского физико-математического общества, 1915; Журнал Физ. Хим. общ., 1916.
35. К вопросу о структуре атомного ядра. *Ztschr. f. Phys.*, 1921.
36. Заметка об одной возможной форме фиктивных двойных звезд. *Astron. Nachr.*, Bd. 221, № 5900, 1924.

Профессор К. К. БАУМГАРТ

Физический институт Ленинградского университета
и.м. Жданова



Вопросы унификации русской электротехнической терминологии рассматриваются уже ряд лет. В 1949 г. был опубликован (*Электричество*, № 2, 1949) проект определенных понятий, относящихся к области электромагнитных явлений, который был составлен комиссией совета электромеханического факультета Ленинградского политехнического института им. Калинина при участии П. Л. Калантарова, Л. Р. Неймана, М. А. Шателена, А. М. Залесского, М. П. Костенко и др. Проект вызвал дискуссию, материалы которой печатались в журнале.

Одновременно с проектом, выполненным в ЛПИ, большая работа по упорядочению терминологии теоретической электротехники проводилась специальной научной комиссией Комитета технической терминологии Академии наук СССР под руководством К. А. Круга в составе: М. А. Перекалина, Э. А. Мееровича, К. М. Поливанова, Л. А. Жекулина, В. М. Лаврова, В. Ю. Ломоносова и Г. В. Зевеке. В своей работе комиссия стремилась учесть мнения участников упомянутой выше дискуссии, а также полученные Комитетом технической терминологии Академии наук СССР заключения научных работников Института философии Академии наук. В результате комиссией составлен проект, отличающийся многими бесспорными достоинствами. Вместе с тем этот проект не свободен и от некоторых недостатков; имеются термины и определения, нуждающиеся в улучшении.

Помещая ниже статью В. М. Лаврова и проект терминологии теоретической электротехники, разработанный комиссией Комитета технической терминологии Академии наук СССР, редакция журнала *«Электричество»* ставит эти материалы на широкое обсуждение читателей, отзывы которых будут опубликованы. Дискуссия будет способствовать улучшению и доработке терминологии, выявлению отдельных определений, требующих уточнения формулировок и приведения их в полное соответствие с новейшими достижениями физической науки и с современными научными представлениями об электричестве.

Терминология теоретической электротехники

Кандидат техн. наук, доц. В. М. ЛАВРОВ

Москва

Разработанные комиссией Комитета технической терминологии термины определены в своем большинстве на основе представлений классической, макроскопической физики, без обращения к электронной теории и квантовой механике. Терминология применима к теории электрических цепей, теории магнитных цепей и теории электромагнитного поля в неионизированных средах. Применение предлагаемой терминологии к вопросам, в которых рассматриваются физические «микрообъекты»: электроны, ионы, кванты, фотоны и т. д., нуждается в дополнительном пояснении, именно, что в соответствии с классическими представлениями физические величины, определенные в терминологии, представляют собой по большей части величины усредненные, средние статистические.

Разумеется, область «микрообъектов» нуждается в разработке своей терминологии, с которой предлагаемая терминология должна быть связана своего рода принципом соответствия.

Некоторая связь с представлениями микрофизики имеется в определении отдельных основных терминов, как то: «электричество» (№ 2), «электромагнитное поле» (№ 5), «заряженная частица» (№ 4), «электрический ток» (№ 48) и др.

Определение большинства терминов строится из указания, во-первых, физического содержания термина и, во-вторых, определения его количественной меры. Такой подход к определению принят в результате настойчивых пожеланий ряда участников состоявшейся дискуссии по проекту терминологии, разработанному в Ленинградском политехническом институте.

Об определениях основных терминов

«Электричество» (№ 2). Энгельс в «Диалектике природы», критикуя различные гипотезы о сущности электричества, заключает ... «вещественное не есть само электричество. Скорее наоборот, электричество оказывается в самом деле некоторой формой движения, хотя и не непосредственного, прямого движения весомой материи» (см. «Диалектика природы», Госполитиздат, 1952 г., статья «Электричество», стр. 88). В терминологии согласно с приведенной мыслью Энгельса «электричество» определено как «свойство материи (особая форма движения материи)». Далее в определении указывается, что это свойство имеет двойственную природу и выявляется в элементарных частицах вещества.

«Электрический заряд» (№ 3). Это понятие определено как количественная мера электричества, т. е. как величина, измеряющая определенное свойство. Такое определение устраняет неверное представление о субстанциональности электрического заряда, т. е. представление об электрическом заряде как об определенном количестве какой-то формы материи, и, с другой стороны, дает основание для введения в качестве одного из основных понятий понятия «заряженной частицы» (№ 4).

«Электромагнитное поле» (№ 5). Электромагнитное поле определяется как особая форма материи (т. е. особый вид материи). Дальнейшая часть термина указывает основные свойства этой формы материи, которые обнаруживаются при исследовании электромагнитного поля методами классической, т. е. макроскопической,

физики и отличают его от других форм материи (например, вещества).

В примечании указывается, что электромагнитное поле при исследовании его методами микрофизики (например, методикой, примененной акад. С. И. Вавиловым в его оптических работах) обнаруживает наряду с волновой своей природой, воспринимаемой как непрерывное пространственное распределение, и дискретность своей структуры, обусловленную частицами электромагнитного поля — фотонами. В таком совмещении, казалось бы, противоречивых свойств электромагнитного поля, полностью подтверждаемых экспериментами, обнаруживается диалектика этой формы материи.

Макрофизика, как указано выше, обнаруживает главным образом «волновую», «непрерывную» сторону структуры электромагнитного поля, и поэтому эта непрерывность и взята как основная в его определении.

В определениях электрического (№ 6) и магнитного (№ 7) полей подчеркнуто, что эти термины определяют две стороны электромагнитного поля. Из таких определений следует, что электрическое и магнитное поле не могут иметь раздельного друг от друга существования и что электромагнитное поле нет оснований считать простой суммой электрического и магнитного полей, т. е. нельзя, например, в электромагнитной волне выделить и обособить магнитное поле и поле электрическое.

Исторически магнитные и электрические явления были открыты и рассматривались раздельно вплоть до идей петербургского академика Ф. У. Т. Эпинуса, который в своем фундаментальном труде «Опыт теории электричества и магнетизма» (1757 г.) и в речи «О сходстве электрической силы и магнитной» (1758 г.) впервые высказал и обосновал мысль о «сокровенном подобии» электрических и магнитных сил, и опыта Эрстеда (1820 г.), обнаружившего магнитное поле электрического тока. Поэтому и та единая физическая реальность, которую мы называем электромагнитным полем, сохраняет в силу традиции двойное название.

«Пустота» (№ 11). Термин этот определяется относительно, как состояние предельного разрежения молекулярной среды. С усовершенствованием вакуумной техники мы сумеем получать все более и более совершенную пустоту и заранее нельзя отрицать, что свойства электромагнитного поля в такой созданной будущей техникой пустоте могут оказаться иные, чем в той пустоте, которой располагает техника сегодняшнего дня. Сохранять латинский термин «vacuum» — «вакуум», имеющий точный перевод — пустота, нет никакого смысла. Термин «вакуум» указан в терминологии как нерекомендуемый.

Предлагаемое определение пустоты, разумеется, ничего общего не имеет с представлением о пустоте как пространстве, лишенном материи. Такое представление, как мы знаем, является представлением идеалистической философии, разрывающей единство пространства времени и материи. Поэтому понятие пустоты как пространства без

материи является понятием, лишенным физического смысла.

Основными величинами, характеризующими электрическое и магнитное поля, в терминологии приняты: напряженность электрического поля (№ 25) и магнитная индукция (№ 72). Эти величины определены соответствующей экспериментальной методикой как величины, характеризующие действия электрического и магнитного полей.

Степень воздействия электрического и магнитного полей на вещество — электрическая поляризация вещества и его намагничивание — характеризуется вектором электрической поляризации (№ 28) и вектором намагниченности (№ 82). Определение этих векторов основывается на указании, что они являются удельным электрическим и соответственно магнитным моментом поляризованного или намагниченного тела.

Исходя из определений напряженности электрического поля, вектора электрической поляризации, магнитной индукции и вектора намагниченности, в соответствии с соотношениями

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{I},$$

где ϵ_0 — электрическая проницаемость пустоты (№ 31), \vec{E} — напряженность электрического поля; \vec{P} — вектор электрической поляризации; μ_0 — магнитная проницаемость пустоты; \vec{B} — магнитная индукция; \vec{I} — вектор намагниченности, — определены векторы \vec{D} — электрическое смещение (№ 30) и \vec{H} — напряженность магнитного поля (№ 83).

Объединение напряженности электрического поля и электрической поляризации — величин, характеризующих различные проявления электрического поля, в одну величину, называемую электрическим смещением, и определение этой величины, как самостоятельной, имеет смысл в том, что эта величина удовлетворяет, во-первых, закону Гаусса

$$\oint \vec{D} \, d\vec{s} = Q$$

и, во-вторых, первая производная этой величины по времени есть плотность тока смещения

$$\vec{j}_{см} = \frac{d\vec{D}}{dt}.$$

Точно так же объединение магнитной индукции и вектора намагниченности в вектор напряженности магнитного поля и определение этого вектора, как самостоятельной характеристики магнитного поля, связано с законом полного тока

$$\oint \vec{H} \, d\vec{l} = i,$$

о чем указано в определении термина напряженности магнитного поля.

В терминологии не делается различия между векторами \vec{E} и \vec{B} сравнительно с векторами \vec{D} и \vec{H} в смысле трактовки первых двух как «физических» и вторых двух как «расчетных». Все эти векторы, как и векторы \vec{P} и \vec{I} , суть физические

величины, т. е. величины, определенные некоторой экспериментально-расчетной методикой и характеризующие различные проявления электромагнитного поля как с качественной, так и с количественной стороны.

За основу определения термина диэлектрик (№ 27) принято явление «электрической поляризации» (№ 26), но так как в электрическом поле при соответствующих условиях будет электрически поляризоваться любое вещество (включая и металлы), то, определяя диэлектрик только как тело, способное поляризоваться в электрическом поле, мы провели бы знак равенства между диэлектриком и любой молекулярной средой. Общепринято диэлектриком называть тело с плохой электропроводностью — это обстоятельство отражено в определении — первым признаком указана способность поляризоваться, вторым — свойство сохранять в своем объеме электростатическое поле.

В определении термина изолятор (№ 37), который обычно понимался как синоним диэлектрика, за основу определения принято явление электропроводности, следовательно, этот термин уже не будет являться синонимом термина «диэлектрик».

Существенное уточнение получили в терминологии термины: разность электрических потенциалов (№ 34), электродвижущая сила (№ 44) и электрическое напряжение между двумя точками вдоль заданного пути (№ 45).

Разность электрических потенциалов определена в связи с термином электрический потенциал (№ 33) как характеристика кулоновского электрического поля (см. № 10) соотношением

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E}_{кул} \vec{dl}.$$

Основным свойством этого поля является, как известно, его потенциальность

$$\oint \vec{E}_{кул} \vec{dl} = 0.$$

Электродвижущая сила (э. д. с.) определена как основная величина, характеризующая стороннее электрическое поле (№ 42)

$$E_{12} = \int_1^2 \vec{E}_{сгр} \vec{dl},$$

где $E_{сгр}$ — напряженность стороннего электрического поля (№ 43).

При наличии стороннего электрического поля интеграл по замкнутому контуру может, как известно, и не равняться нулю; его значение и будет величиной э. д. с., действующей в этом контуре, например:

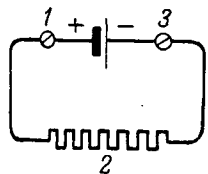


Рис. 1.

1. Замкнутая цепь, содержащая гальванический элемент:

$$\text{Здесь } \oint_{1-2-3-1} \vec{E}_{сгр} \vec{dl} = E_{31}, \text{ где}$$

E_{31} — э. д. с. элемента.

2. Замкнутая цепь, составленная из двух разнородных металлических проводников, спай которых имеет разные температуры: $T_1 \neq T_2$.

В этом случае:

$$\oint_{1-2-1} \vec{E}_{сгр} \vec{dl} = E,$$

где E — термо-э. д. с.



Рис. 2.

3. Замкнутая цепь, пронизываемая переменным магнитным потоком Φ .

Интегрируя вдоль замкнутого контура 1-2-3-4-1 напряженность наведенного вихревого электрического поля $E_{инд}$, получим:

$$\oint_{1-2-3-4-1} \vec{E}_{инд} \vec{dl} = - \frac{d\Phi}{dt} = E_{инд},$$

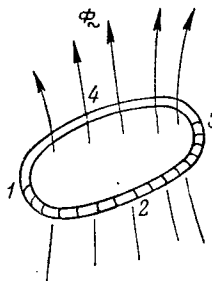


Рис. 3.

где $E_{инд}$ — э. д. с. индукции, действующая в контуре.

Наконец, термином электрическое напряжение между двумя точками вдоль заданного пути (№ 45) определяется характеристика результирующего электрического поля, напряженность которого будет равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_{сгр} + \vec{E}_{кул}.$$

Обозначив электрическое напряжение между двумя точками вдоль заданного пути 1-2 — $U_{1,2}$, мы в общем случае получим:

$$U_{1,2} = \int_1^2 (\vec{E}_{сгр} + \vec{E}_{кул}) \vec{dl} = E_{1,2} + (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Электрическое напряжение вдоль замкнутого контура, очевидно, совпадает с э. д. с., действующей в этом контуре. Например, в случаях 1, 2, 3 вычисленная э. д. с. совпадает с напряжением вдоль контура.

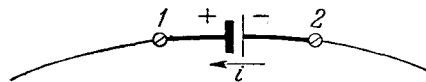


Рис. 4.

Ток в участке цепи определяется всегда величиной электрического напряжения, взятого вдоль этого участка, например:

$$i = \frac{\varphi_2 - \varphi_1 + E}{r_{21}} = \frac{U_{2,1}}{r_{21}}.$$

Величина электрического напряжения зависит от выбранного пути, например, напряжение на зажимах разомкнутого элемента (см. рис. 5) будет: 1) при интегрировании по пути 1-2-3

$$\begin{aligned} U_{1,3} &= \int_{1-2-3} (\vec{E}_{сгр} + \vec{E}_{кул}) \vec{dl} = \\ &= \int_{1-2-3} \vec{E}_{кул} \vec{dl} = \varphi_1 - \varphi_3 \end{aligned}$$

совпадать с разностью потенциалов на зажимах элемента, так как сторонних сил на этом пути нет. Если же подсчитать напряжение на пути 3-1 сквозь элемент, то получим:

$$U_{3,1} = \int_3^1 (\bar{E}_{стр} + \bar{E}_{кул}) d\bar{l} = 0,$$

т. е. при отсутствии тока в элементе его э. д. с.

$$E_{31} = \int_3^1 \bar{E}_{стр} d\bar{l}$$

будет равна разности потенциалов $\varphi_1 - \varphi_3 = \int_1^3 \bar{E}_{кул} d\bar{l}$, сумма же $E_{31} + (\varphi_3 - \varphi_1) = 0$.

Рассмотрим еще случай разомкнутого контура в переменном магнитном поле.

При невысоких частотах изменения поля э. д. с. индукции, наводимая в контуре:

$$E_{21} = \int_2^1 \bar{E}_{инд} d\bar{l}$$

будет равна разности потенциалов

$$\varphi_{1,2} = \int_1^2 E_{кул} d\bar{l}$$

кулоновского поля, возникающего за счет зарядов, накапливающихся на концах контура, и напряжение вдоль контура будет равно нулю:

$$U_{21} = \int_2^1 (\bar{E}_{инд} + \bar{E}_{кул}) d\bar{l} = 0.$$

Однако напряжение между точками 1-2, взятое, например, по пути 1-3-2, обозначенному на рис. 6 пунктиром, будет отличаться от разности потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ на величину

$$\int_{1-3-2} \bar{E}_{инд} d\bar{l}.$$

В терминологии дано отдельное определение электрического тока смещения в пустоте (№ 52), электрического тока поляризации (№ 50) и тока смещения (№ 53) как суммы первых двух токов.

Электрическим током конвекции (№ 51) назван любой вид движения заряженных частиц. Таким образом, электрический ток проводимости (№ 49) оказывается частным случаем тока конвекции, когда свободные заряженные частицы переносятся под воздействием электрического поля.

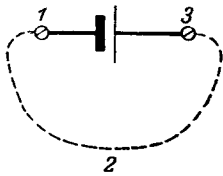


Рис. 5.

Определены понятия: линия электрического тока (№ 61), линия магнитной индукции (№ 73) и в их определениях подчеркнуто, что подобные линии — чисто геометрические понятия, характеризующие распределение векторов поля.

Исключены и не упоминаются в терминологии понятия магнитных масс. Построение электродинамики без этих архаических понятий лишь выигрывает в последовательности и физичности.

Индуктивность (№ 111), взаимная индуктивность (№ 112) определены как свойства электрических цепей. Аналогично как свойства тел или сред определены понятия проводимость (№ 35), электрическая емкость (№ 38), электрическое сопротивление (№ 62).

Термины электростатическая индукция (№ 9), электромагнитная индукция (№ 108), самоиндукция (№ 109), взаимная индукция № 110) определены как явления. С другой стороны, термин магнитная индукция (№ 72) определен как вектор, характеризующий поле, т. е. как физическая величина.

Такое обилие «индукций», обозначающих разные по характеру объекты, представляет, разумеется, некоторое неудобство, однако эти термины прочно вошли в обиход электродинамики.

В разделе «Многофазные системы и цепи» введен ряд новых определений. Наряду с многофазными системами (№ 163—168) — системами переменных э. д. с. одной частоты с различными амплитудными и фазовыми соотношениями — введены определения многофазных цепей (№ 169—174) как электрических цепей, в которых действуют соответствующие многофазные системы.

В заключение добавим несколько общих замечаний. Следует отметить, что при разработке терминологии часто приходилось, исходя из электротехнической практики, не давать абсолютно однозначных определений. Некоторые термины поэтому могут оказаться частично взаимно перекрывающимися друг друга, например, пульсирующий ток (№ 121) определен как периодический ток, у которого мгновенные значения одного знака значительно превосходят мгновенные значения другого. Так, например, ток в цепи с реальным выпрямителем может иметь форму, подобную приведенной на рис. 7. Такой ток в практике будет назван пульсирующим, хотя по определению № 120 он подходит к понятию переменного тока.

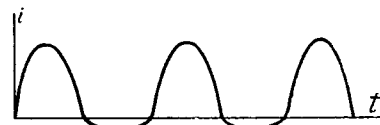


Рис. 7.

Далее, целый ряд основных физических величин (№ 19, 20, 21, 25, 28, 33, 34 и т. д.) определен предельным переходом. Предельный переход строго допустим только в отношении непрерывных

функций. Так как почти все определения даны на основе макроскопических представлений, т. е. величины, рассматриваемые в терминологии, являются величинами усредненными, то мы вправе к таким величинам применять приемы предельного перехода.

ПРОЕКТ ТЕРМИНОЛОГИИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Составлен комиссией Комитета технической терминологии Академии наук СССР

Определение основных понятий электромагнетизма «электричество», «электромагнитное поле» и т. д. базируется на неоспоримом факте материальности объектов, соответствующих этим понятиям. Распространенные определения понятий «электромагнитное поле», «электрическое поле», «магнитное поле» как «пространства, обладающего особыми физическими свойствами», неправильны, потому что пространство, — это одна из форм существования материи, но отнюдь не сама материя; электромагнитное же поле — это форма (вид) материи. Следовательно электромагнитное поле не есть пространство. Кроме того, физическими свойствами обладают именно различные формы материи, и эти свойства отличают различные формы материи друг от друга.

Нужно отметить, что определение некоторых общих понятий ввиду их широты сопровождается описанием ряда характерных физических явлений, в которых обнаруживается физический фактор, соответствующий рассматриваемому понятию.

В терминологии даны отдельные определения понятий «электрического потенциала» — характеристики кулоновского электрического поля, «электродвижущей силы» (э. д. с.) — характеристики стороннего электрического поля и «электрического напряжения» — характеристики результирующего электрического поля. «Электрическое напряжение» определяется «вдоль заданного пути», так как зависит от выбора этого пути.

В терминологии применяются выражения: «ничтожно малый», «достаточно малый», «элементарный» в применении к линейным, поверхностным и объемным размерам, а также к различным физическим величинам (например: зарядам, проводимости и т. д.). Эти выражения надо понимать в отношении к другим, аналогичным величинам, определяющим основные черты рассматриваемого объекта (см., например, термины № 16, 17, 18, 22, 37 и др.).

Курсивом обозначены термины, рекомендуемые для определяемого понятия. Как правило, для каждого понятия установлен лишь один основной, наиболее правильный термин, освобожденный от всех побочных значений и потому однозначный. Однако в некоторых отдельных слу-

чаях наравне с таким основным термином предлагается второй, параллельный термин, не выделяемый курсивом.

Если второй термин является краткой формой основного (т. е. не содержит новых терминологических элементов, не входящих в состав основного термина), то он допускается к применению наравне с основным при таких условиях, когда невозможны какие-либо недоразумения (например, «емкость» и «электрическая емкость», см. термин № 38). Иногда параллельный термин построен по иному принципу (например, «коэффициент фазы» и «волновое число» см. термин № 194). В этом случае при повторном пересмотре терминологии один из параллельных терминов должен быть устранен (например, в зависимости от результатов внедрения предложенного нового, более правильного варианта и т. п.).

Определение (в противоположность термину) не может претендовать на его постоянное использование в буквальной форме. По характеру изложения (первичное изучение понятия, необходимость более ясно и подробно осветить физическую сущность и т. п.) определение, естественно, может варьироваться, однако без нарушения границ самого понятия.

Для некоторых терминов в скобках приведены синонимы, которые в литературе и на практике применяются к определяемому понятию, но не могут быть рекомендованы с точки зрения точности всей терминологической системы. Вместе с тем некоторые из них, не рекомендуемые для определяемых понятий, являются вполне подходящими для каких-либо иных и поэтому применение их в соответствующих случаях может представиться вполне целесообразным.

1. Основные понятия

1. *Теоретическая электротехника.* Область электротехники, в которой изучаются основные вопросы теории электромагнитных процессов, имеющих значение в технике.

2. *Электричество.* Свойство материи (особая форма движения материи), имеющее двойственную природу и выявляющееся в особых элементарных частицах вещества (положительное электричество — в протонах и позитронах, отрицательное — в электронах).

Примечание. В узком смысле слова термин «электричество» иногда употребляется как синоним термина «электрический заряд».

3. *Электрический заряд.* Количественно определенное электричество, выражающееся скалярной величиной.

Примечание. Электрический заряд может быть определен с помощью явлений силового взаимодействия назлектризованных тел, электролиза и т. д.

4. *Заряженная частица.* Элементарная частица вещества, обладающая избытком положительного или отрицательного электричества.

5. *Электромагнитное поле.* Особая форма материи, отличающейся непрерывным распределе-

нием в пространстве, характеризующейся способностью распространения со скоростью света, способностью силового воздействия на заряженные частицы и токи, в процессе которого энергия поля преобразуется в другие виды энергии (тепловую, механическую и т. д.).

Примечание. При применении к исследованию электромагнитного поля методов микрофизики обнаруживается дискретность его структуры (фотоны)

6. Электрическое поле. Одна из двух сторон электромагнитного поля, обусловленная (возбуждаемая) электрическими зарядами и изменением магнитного поля и характеризующаяся силовым воздействием на частицы, обладающие электрическим зарядом.

7. Магнитное поле. Одна из двух сторон электромагнитного поля, обусловленная (возбуждаемая) электрическими зарядами движущихся заряженных частиц и изменением электрического поля и характеризующаяся силовым воздействием на движущиеся заряженные частицы.

8. Электростатическое поле. Электрическое поле неизменяющихся по величине и положению электрических зарядов.

9. Электростатическая индукция. Явление наведения электрических зарядов в незаряженном теле при наличии изолированного от этого тела другого, заряженного, тела.

10. Кулоновское электрическое поле. Электрическое поле, или его составляющая, обусловленное (возбужденное) электрическими зарядами как неподвижными, так и движущимися, обладающее свойством потенциальности.

11. Пустота (вакуум). Состояние предельно разреженной молекулярной среды, встречающееся в межпланетном пространстве, а также состояние предельного разрежения молекулярной среды, достижимое современными техническими средствами.

Примечание. В вакуумной технике термин „вакуум“ применяется для обозначения такой степени разрежения газа, когда длина свободного пробега молекулы становится значительно больше линейных размеров сосуда, в котором создается это разрежение.

12. Электрическая энергия. Особый вид энергии, непосредственно связанной с электрической стороной электромагнитного поля (с электрическим полем) и преобразующейся в другие виды энергии при изменении электрического поля и также в процессе работы, совершаемой при перемещении заряженных частиц в электрическом поле.

13. Магнитная энергия. Особый вид энергии, непосредственно связанной с магнитной стороной электромагнитного поля (с магнитным полем) и преобразующейся в другие виды энергии при изменении магнитного поля и также в процессе работы, совершаемой при перемещении электрических токов, внесенных в поле.

14. Электромагнитная энергия. Энергия электромагнитного поля, состоящая из электрической и магнитной энергии.

II. Электрические заряды

15. Объемный электрический заряд. Электрический заряд, распределенный в некотором объеме.

16. Поверхностный электрический заряд. Электрический заряд, распределенный в объеме слоя ничтожно малой толщины.

17. Линейный электрический заряд. Электрический заряд, распределенный в объеме трубки с ничтожно малыми размерами сечения.

18. Точечный электрический заряд. Электрический заряд, сосредоточенный в объеме ничтожно малых размеров.

19. Объемная плотность электрического заряда в данной точке. Объемная плотность заряда. Скалярная величина, характеризующая распределение объемного электрического заряда и равная пределу отношения объемного заряда к объему, в котором он сосредоточен, когда рассматриваемая часть объема стремится к нулю.

20. Поверхностная плотность электрического заряда в данной точке. Поверхностная плотность заряда. Скалярная величина, характеризующая распределение поверхностного электрического заряда и равная пределу отношения поверхностного заряда к поверхности слоя, в котором этот заряд сосредоточен, когда рассматриваемая часть поверхности слоя стремится к нулю.

21. Линейная плотность электрического заряда в данной точке. Линейная плотность заряда. Скалярная величина, характеризующая распределение линейного электрического заряда и равная пределу отношения линейного заряда к длине трубки, в которой этот заряд сосредоточен, когда рассматриваемая часть длины трубки стремится к нулю.

22. Электрический диполь. Два связанных между собой точечных электрических заряда, равных по величине и противоположных по знаку и находящихся один от другого на ничтожно малом расстоянии.

23. Электрический момент электрического диполя. Векторная величина, равная произведению одного из зарядов диполя и расстояния между ними и направленная от отрицательного к положительному заряду.

24. Электрический момент тела. Векторная сумма электрических моментов всех диполей, входящих в состав рассматриваемого тела.

III. Основные электрические характеристики различных сред и электрического поля

25. Напряженность электрического поля. Векторная величина, характеризующая силовое действие электрического поля на заряженную частицу и равная пределу отношения силы, с которой электрическое поле действует на эту частицу, внесенную в рассматриваемую точку поля, к заряду этой частицы, когда величина ее заряда стремится к нулю, и направление которой принимается совпадающим с направлением силы, действующей на положительно заряженную частицу.

26. Электрическая поляризация. Состояние вещества, характеризующееся тем, что электрический

момент всего тела или его части имеет значение, отличное от нуля.

27. *Диэлектрик*. Среда или тело, поляризующиеся в электрическом поле и допускающие длительное существование электростатического поля в своем объеме.

28. *Вектор электрической поляризации*. Векторная величина, характеризующая степень электрической поляризации диэлектрика в данной точке и равная пределу отношения вектора электрического момента некоторого объема диэлектрика, включающего эту точку, к этому объему, когда последний стремится к нулю.

29. *Коэффициент электрической поляризации* (электрическая восприимчивость). Скалярная величина, характеризующая свойство диэлектрика поляризоваться в электрическом поле и равная множителю, стоящему при векторе напряженности электрического поля, в выражении вектора электрической поляризации, деленному на электрическую проницаемость пустоты.

Примечание. Коэффициент электрической поляризации анизотропной среды представляет собой тензор.

30. *Электрическое смещение*. Векторная величина, равная сумме векторов напряженности и поляризации, из которых каждый множится на свой коэффициент, зависящий от выбора системы единиц.

Примечание. В системе единиц MKS множителем в выражении вектора напряженности является электрический коэффициент пустоты, а при векторе поляризации — единица.

31. *Электрическая проницаемость*. Электрический коэффициент (диэлектрический коэффициент; диэлектрическая проницаемость). Множитель, стоящий при векторе напряженности электрического поля в выражении вектора электрического смещения в случае изотропной среды.

Примечание. Электрическая проницаемость анизотропной среды представляет собой тензор. Электрическая проницаемость пустоты в системе MKS равна:

$$\epsilon_0 \approx \frac{1}{4\pi \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{физзард}}{\text{метр}}.$$

32. *Относительная электрическая проницаемость* (относительный диэлектрический коэффициент; относительная диэлектрическая проницаемость). Отношение электрической проницаемости среды в данной точке к электрической проницаемости пустоты.

33. *Электрический потенциал*. Скалярная величина, характеризующая кулоновское электрическое поле и равная пределу отношения работы сил этого поля при переносе положительно заряженной частицы из данной точки поля в другую, потенциал которой принят равным нулю, к заряду этой частицы, когда заряд стремится к нулю (иначе: функция точки, градиент которой, взятый с обратным знаком, равен напряженности поля).

34. *Разность электрических потенциалов двух точек*. Предел отношения работы сил кулоновского электрического поля при переносе положительно заряженной частицы из одной точки в другую к заряду этой частицы, если заряд уменьшается

до нуля (иначе: линейный интеграл напряженности кулоновского электрического поля между этими точками).

35. *Проводимость*. Свойство тела или среды проводить постоянный электрический ток при воздействии электрического поля, измеряемое отношением электрической мощности, поглощаемой телом, к квадрату напряжения, приложенного к нему.

36. *Проводник*. Проводящая среда. Среда или тело, обладающие проводимостью (иначе: среда или тело, в которых невозможно существование электростатического поля).

37. *Изолятор*. Непроводник. Непроводящая среда. Среда или тело с ничтожной проводимостью.

Примечание. Иногда термином „изолятор“ называют деталь или устройство, препятствующее утечке электрических зарядов.

38. *Электрическая емкость*. Емкость. Свойство проводящих тел накапливать и удерживать электрический заряд, измеряемое отношением заряда одиночного тела к его потенциалу, полагая потенциал бесконечно удаленной точки равным нулю.

Примечание. Иногда термином „емкость“ называют для краткости устройство, в котором используется электрическая емкость как главное его свойство.

39. *Конденсатор*. Система из двух проводников (обкладок), разделенных изолятором, в которой используется ее электрическая емкость.

40. *Емкость конденсатора*. Абсолютное значение отношения электрического заряда одной из обкладок конденсатора к разности потенциалов между ними при условии, что обкладки имеют одинаковые по величине и противоположные по знаку заряды.

41. *Частичная емкость*. Емкость между двумя проводниками («первым» и «вторым»), входящими в систему проводников, определяемая как абсолютное значение отношения заряда на «первом» к разности потенциалов между «первым» и «вторым», если все проводники, кроме «второго», имеют один и тот же потенциал.

42. *Стороннее электрическое поле*. Электрическое поле, не определяющееся законом Кулона и возбуждаемое, например, изменением магнитного поля, тепловыми процессами, химическими реакциями, контактными явлениями и т. п.

43. *Напряженность стороннего электрического поля*. Векторная величина, равная пределу отношения силы, действующей на заряженную частицу в стороннем электрическом поле, к заряду частицы, если заряд стремится к нулю.

44. *Электродвижущая сила*. Э. д. с. Скалярная величина, характеризующая стороннее электрическое поле, значение которой равно линейному интегралу от напряженности стороннего поля вдоль контура, проходящего через это поле.

45. *Электрическое напряжение между двумя точками вдоль заданного пути*. Скалярная величина, характеризующая электрическое поле (стороннее и кулоновское), значение которой между двумя точками, вдоль заданного пути, равно ли-

нейному интегралу напряженности результирующего электрического поля вдоль этого пути.

Примечания: 1. При отсутствии стороннего электрического поля электрическое напряжение между двумя точками равно разности электрических потенциалов между этими точками.

2. Электрическое напряжение вдоль замкнутого контура равно э. д. с., действующей в этом контуре.

3. При определении электрического напряжения на зажимах источника электрического тока путь интегрирования располагают вне источника; напряжение источника тока при отсутствии стороннего поля на пути интегрирования получается равным разности потенциалов на зажимах источника.

46. *Векторный электродинамический потенциал.* Векторная величина, ротор которой равен вектору индукции магнитного поля.

47. *Скалярный электродинамический потенциал.* Скалярная величина, градиент которой, взятый с обратным знаком, равен сумме напряженности электрического поля и производной по времени векторного электродинамического потенциала.

IV. Электрический ток

48. *Электрический ток.* Ток. Явление переноса заряженных частиц, изменения электрического поля во времени, электрической поляризации диэлектриков и других электрических процессов, сопровождающихся магнитным полем (возбуждающих магнитное поле) и измеряемое скалярной величиной, равной поверхностному интегралу от вектора плотности тока, по данной поверхности.

Примечание. Скалярная величина, измеряющая ток, обычно называется тем же термином (ток).

49. *Электрический ток проводимости.* Ток проводимости. Явление переноса свободных заряженных частиц под действием электрического поля, измеряемое скалярной величиной, равной поверхностному интегралу от вектора плотности тока проводимости по данной поверхности.

50. *Электрический ток поляризации.* Ток поляризации. Явление смещения связанных заряженных частиц в диэлектрике под воздействием электрического поля, измеряемое скалярной величиной, равной поверхностному интегралу от вектора плотности тока поляризации по данной поверхности.

51. *Электрический ток конвекции.* Ток конвекции. Явление переноса заряженных частиц (как свободных, так и связанных), измеряемое скалярной величиной, равной поверхностному интегралу от вектора плотности тока конвекции по данной поверхности.

Примечание. В узком смысле слова током конвекции называется явление переноса заряженных частиц под действием механических сил.

52. *Электрический ток смещения в пустоте.* Ток смещения в пустоте. Явление изменения во времени электрического поля, измеряемое скалярной величиной, равной поверхностному интегралу от вектора плотности тока смещения в пустоте по данной поверхности.

53. *Электрический ток смещения.* Ток смещения. Сумма электрического тока смещения в пустоте и электрического тока поляризации, измеряемая скалярной величиной, равной поверхно-

стному интегралу от вектора плотности тока смещения по данной поверхности.

54. *Плотность электрического тока проводимости.* Векторная величина, направление которой совпадает с направлением движения положительно заряженных частиц и модуль которой равен пределу отношения суммы абсолютных значений электрических зарядов положительно и отрицательно заряженных частиц, движущихся навстречу друг другу под действием электрического поля и проходящих за некоторый промежуток времени, сквозь некоторую площадку, нормальную к направлению движения этих частиц, к произведению этого промежутка времени и площади, когда и промежуток времени и площадь стремятся к нулю.

55. *Плотность электрического тока поляризации.* Векторная величина, равная пределу отношения изменения вектора поляризации к промежутку времени этого изменения, когда промежуток времени стремится к нулю (иначе: первая производная вектора поляризации по времени).

56. *Плотность электрического тока конвекции.* Векторная величина, направление которой совпадает с направлением движения положительно заряженных частиц и модуль которой равен пределу отношения суммы абсолютных значений электрических зарядов положительно и отрицательно заряженных частиц, движущихся навстречу друг другу и проходящих за некоторый промежуток времени сквозь некоторую площадку, нормальную к направлению движения этих частиц, к произведению этого промежутка времени и площади, когда и промежуток времени и площадь стремятся к нулю.

57. *Плотность электрического тока смещения в пустоте.* Векторная величина, равная пределу отношения изменения вектора напряженности электрического поля к промежутку времени этого изменения, когда промежуток времени стремится к нулю, умноженная на электрический коэффициент пустоты (иначе: первая производная вектора напряженности электрического поля по времени, умноженная на электрический коэффициент пустоты).

58. *Плотность электрического тока смещения.* Векторная величина, равная пределу отношения изменения вектора смещения к промежутку времени этого изменения, когда промежуток времени стремится к нулю (иначе: первая производная вектора смещения по времени).

59. *Плотность электрического тока.* Векторная сумма вектора плотности тока проводимости, вектора плотности тока конвекции и вектора плотности тока смещения.

60. *Мощность электрического тока.* Предел отношения работы, совершаемой электрическим током за некоторый промежуток времени, к этому промежутку, когда указанный промежуток времени стремится к нулю.

Примечание. Рассмотренный предел также равен произведению э. д. с. (напряжения) и тока.

61. *Линия электрического тока.* Линия, в каждой точке которой касательная совпадает с направлением вектора плотности тока (иначе: линия вектора плотности электрического тока).

V. Электрическая цепь, ее элементы и их характеристики

62. *Электрическое сопротивление.* Свойство тела или среды превращать при прохождении тока электрическую энергию в тепловую, измеряемое отношением электрической мощности, поглощаемой телом, к квадрату тока, текущего в нем.

Примечание. Устройство, состоящее из проводников, в котором используется их электрическое сопротивление, иногда для краткости называют „сопротивлением“.

63. *Удельная электрическая проводимость.* Множитель, состоящий при векторе напряженности результирующего электрического поля в выражении вектора плотности электрического тока проводимости.

Примечания: 1. Удельная электрическая проводимость также равна обратной величине удельного электрического сопротивления.

2. Удельная электрическая проводимость анизотропной среды представляет собой тензор.

64. *Удельное электрическое сопротивление.* Множитель, стоящий при векторе плотности тока проводимости, в выражении вектора напряженности электрического поля.

Примечания: 1. Удельное электрическое сопротивление также равно обратной величине удельной электрической проводимости.

2. Удельное электрическое сопротивление анизотропной среды представляет собой тензор.

65. *Температурный коэффициент электрического сопротивления.* Отношение изменения сопротивления среды или тела при изменении температуры на один градус к первоначальному значению величины сопротивления.

66. *Электрическая цепь.* Соединение источников тока, сопротивлений, емкостей и индуктивностей, по которым могут протекать электрические токи.

67. *Линейная электрическая цепь.* Электрическая цепь, сопротивления, индуктивности и емкости которой не зависят от значений токов, текущих в цепи, и напряжений на ее участках.

68. *Нелинейная электрическая цепь.* Электрическая цепь, в которой сопротивления, индуктивности и емкости могут изменяться в зависимости от проходящего тока или приложенного напряжения.

69. *Многополюсник.* Часть электрической цепи, имеющая не менее двух зажимов.

70. *Многополюсник пассивный.* Многополюсник, не содержащий э. д. с. (источников тока).

71. *Многополюсник активный.* Многополюсник, содержащий э. д. с. (источники тока).

VI. Основные магнитные характеристики среди магнитного поля

72. *Магнитная индукция.* Векторная величина, характеризующая силовое действие магнитного поля на ток, а также характеризующая способность магнитного поля при его изменении возбуждать вихревое электрическое поле. За направление вектора магнитной индукции в данной точке поля принимается направление от южного полю-

са к северному магнитной стрелки, помещенной в данную точку поля и ориентированной силами поля. Модуль вектора индукции равен пределу отношения силы, действующей на элемент длины проводника, по которому течет некоторый ток, к произведению этого элемента и тока, когда и элемент и ток стремятся к нулю, причем рассматриваемый элемент проводника должен быть расположен нормально к направлению вектора индукции.

73. *Линия магнитной индукции* (магнитная линия). Линия, в каждой точке которой касательная к ней совпадает с направлением вектора магнитной индукции.

74. *Трубка магнитной индукции* (магнитная трубка). Часть магнитного поля, ограниченная непрерывной поверхностью, представляющей собой трубку, образующими которой являются линии магнитной индукции.

75. *Магнитный поток.* Поток вектора магнитной индукции (иначе: поверхностный интеграл от вектора магнитной индукции по данной поверхности).

76. *Магнитный диполь.* Замкнутый электрический ток, текущий по элементарному контуру.

77. *Магнитный момент элементарного контура с электрическим током.* Магнитный момент магнитного диполя. Векторная величина, пропорциональная произведению величины тока и площади, ограниченной элементарным контуром, по которому течет ток, и направленная перпендикулярно к этой площади согласно правилу правого винта.

78. *Магнитный момент тела.* Векторная величина, равная геометрической сумме магнитных моментов элементарных замкнутых токов, эквивалентных молекулярным токам данного тела.

79. *Намагничивание* (магнитная поляризация). Процесс, в результате которого тело приобретает магнитный момент.

80. *Намагничивающая сила* (магнитодвижущая сила). Скалярная величина, характеризующая магнитное действие электрического тока, пропорциональная алгебраической сумме токов, охватываемых данным замкнутым контуром, и равная линейному интегралу напряженности магнитного поля вдоль этого контура.

81. *Намагниченность.* Состояние вещества, характеризующее тем, что магнитный момент всего тела или его части имеет значение, отличное от нуля.

82. *Вектор намагниченности* (вектор интенсивности намагничивания). Векторная величина, характеризующая степень намагниченности вещества в данной точке и равная пределу отношения вектора магнитного момента некоторого объема, включающего эту точку, к этому объему, когда последний стремится к нулю.

83. *Напряженность магнитного поля.* Векторная величина, линейный интеграл по замкнутому контуру которой пропорционален сумме макроскопических электрических токов, пронизывающих любую непрерывную поверхность, ограниченную контуром интегрирования, и равная разности вектора магнитной индукции и намагниченности,

из которых каждый множится на свой коэффициент, зависящий от выбора системы единиц.

84. *Скалярный магнитный потенциал.* Многозначная скалярная функция точки, градиент которой, взятый с обратным знаком, равен напряженности магнитного поля.

Примечание. В точках, где плотность электрического тока не равна нулю, скалярный магнитный потенциал не существует.

85. *Разность скалярных магнитных потенциалов между точками.* Линейный интеграл напряженности магнитного поля между этими точками при условии, что путь интегрирования проходит в области, где плотность электрических токов равна нулю.

86. *Коэффициент намагниченности* (магнитная восприимчивость). Скалярная величина, характеризующая свойство среды намагничиваться при воздействии магнитного поля и равная множителю, стоящему при векторе напряженности магнитного поля, в выражении вектора намагниченности.

Примечание. Коэффициент намагниченности анизотропной среды представляет собой тензор.

87. *Магнитная проницаемость.* Множитель, стоящий при векторе напряженности в выражении вектора магнитной индукции в случае изотропной среды.

Примечание. В анизотропной среде магнитная проницаемость представляет собой тензор. Магнитная проницаемость пустоты в системе MKS равна:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{гекри}}{\text{метр}}.$$

88. *Относительная магнитная проницаемость.* Отношение магнитной проницаемости среды в данной точке к магнитной проницаемости пустоты.

89. *Первоначальная кривая намагничивания.* Кривая зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля при намагничивании монотонным изменением магнитного поля первоначально размагниченого тела.

90. *Гистерезис.* Явление необратимости намагничивания среды и зависимости магнитной индукции при намагничивании от предшествующего магнитного состояния.

91. *Петля гистерезиса.* Кривая зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля при циклическом изменении напряженности поля.

92. *Задерживающая сила* (коэрцитивная сила). Напряженность магнитного поля, которое должно быть приложено к намагниченному телу, чтобы свести магнитную индукцию в теле к нулю.

93. *Остаточная намагниченность.* Намагниченность, сохраняющаяся в теле, когда намагничивающие силы или напряженность внешнего магнитного поля спадают до нуля.

94. *Магнит.* Тело, обладающее остаточной намагниченностью.

95. *Электромагнит.* Устройство, в котором намагничивание сердечника из вещества с большой магнитной проницаемостью поддерживается током, текущим в намагничивающей обмотке.

96. *Остаточная индукция.* Магнитная индукция магнитного поля, возбужденного остаточной намагниченностью.

97. *Магнитостатическое поле.* Магнитное поле неподвижных постоянных магнитов.

98. *Северный магнитный полюс.* Часть поверхности магнита или электромагнита, на которой вектор магнитной индукции составляет с наружной нормалью к этой поверхности угол, близкий или равный нулю.

99. *Южный магнитный полюс.* Часть поверхности магнита или электромагнита, на которой вектор магнитной индукции составляет с наружной нормалью к этой поверхности угол, близкий или равный π .

100. *Магнитная цепь.* Совокупность сред и тел, находящихся под действием намагничивающих сил и связанных общим магнитным потоком.

101. *Магнитное сопротивление магнитной цепи.* Величина, равная отношению намагничивающей силы, возбуждающей магнитный поток в данной магнитной цепи, к этому потоку.

102. *Магнитная проводимость магнитной цепи.* Величина, равная отношению магнитного потока в данной магнитной цепи к намагничивающей силе, возбуждающей этот поток.

103. *Магнитное сопротивление.* Величина, равная отношению разности скалярных магнитных потенциалов двух эквипотенциальных сечений данного магнитного потока к этому потоку.

104. *Магнитная проводимость.* Величина, равная отношению рассматриваемого магнитного потока к разности скалярных магнитных потенциалов двух эквипотенциальных сечений этого потока.

105. *Потокосцепление.* Сумма магнитных потоков, сцепленных с каждым из витков данной электрической цепи.

106. *Потокосцепление самоиндукции.* Потокосцепление электрической цепи, обусловленное (возбужденное) электрическим током в этой цепи.

107. *Потокосцепление взаимной индукции.* Потокосцепление одной электрической цепи, обусловленное (возбужденное) электрическим током в другой электрической цепи.

108. *Электромагнитная индукция.* Явление возбуждения вихревого электрического поля при изменении магнитного поля, приводящее к наведению э. д. с. в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур, или при движении его или части его в магнитном поле.

109. *Самоиндукция.* Явление возбуждения э. д. с. в электрической цепи при изменении электрического тока, текущего в этой цепи.

110. *Взаимная индукция.* Явление возбуждения э. д. с. в электрической цепи при изменении электрического тока, текущего в другой цепи, имеющей с первой общее потокосцепление.

111. *Индуктивность.* Свойство электрической цепи, обуславливающее наведение э. д. с. в этой цепи при изменении тока, текущего в ней, и измеряемое величиной отношения наведенной в этой цепи э. д. с. к первой производной тока, текущего в цепи, по времени или величиной отношения

потокосцепления самоиндукции этой цепи к току, текущему в ней, или величиной отношения накопленной в магнитном поле энергии к половине квадрата тока.

Примечания: 1. При непостоянной магнитной проницаемости среды термин теряет свою определенность.

2. Устройство, представляющее обычно катушку из проводникового материала, в котором используется его индуктивность, иногда для краткости называют „индуктивностью“.

112. *Взаимная индуктивность*. Свойство одной электрической цепи, обуславливающее возбуждение э. д. с. в другой электрической цепи при изменении электрического тока, текущего в первой цепи, и измеряемое величиной отношения возбужденной во второй цепи э. д. с. к первой производной тока, текущего в первой цепи, по времени или величиной отношения потокосцепления взаимной индукции первой цепи со второй к току, текущему в первой цепи.

Примечание. При непостоянной магнитной проницаемости среды термин теряет свою определенность.

VII. Переменный ток

Примечания: 1. Термины № 113, 114, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 128, 129, 130, 151, 152, относящиеся к „току“, могут применяться и в отношении к „напряжению“, „э. д. с.“ и т. д.

2. Термины № 136, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, относящиеся к „синусоидальному току“, могут применяться и к „эквивалентному синусоидальному току“.

113. *Мгновенное значение электрического тока*. Мгновенное значение тока. Величина электрического тока в рассматриваемое мгновение времени.

114. *Периодический электрический ток*. Периодический ток. Электрический ток, мгновенные значения которого повторяются через определенные промежутки времени (через период).

115. *Период*. Наименьший промежуток времени, по истечении которого мгновенное значение переменной величины (э. д. с., напряжения или тока) повторяется в той же последовательности неопределенное число раз.

116. *Частота переменного тока*. Число периодов в единицу времени (иначе: величина, обратная периоду).

117. *Угловая частота*. Множитель, при величине времени в выражении аргумента синусоидальной величины равный числу периодов в 2 π сек.

118. *Непериодический ток*. Электрический ток, меняющийся во времени по непериодическому закону.

Примечание. Электрический ток, сохраняющий свое значение неизменным, называется постоянным током.

119. *Импульс тока*. Кратковременный электрический ток.

120. *Переменный электрический ток*. Переменный ток. В широком смысле слова любой изменяющийся с течением времени ток. В узком смысле слова — периодический электрический ток, среднее значение которого за период равно или близко к нулю.

121. *Пульсирующий электрический ток*. Пульсирующий ток. Периодический электрический ток, имеющий мгновенные значения одного знака, значительно превосходящие мгновенные значения противоположного знака.

122. *Синусоидальный электрический ток*. Гармонический электрический ток. Синусоидальный ток. Периодический электрический ток, изменяющийся в зависимости от времени по синусоидальному закону.

123. *Несинусоидальный электрический ток*. Периодический электрический ток, отличный от синусоидального.

124. *Фаза синусоидальной величины*. Фаза. Угловое значение аргумента синусоидальной величины, взятое от ближайшей точки перехода этой величины через нуль к положительному значению.

125. *Сдвиг фаз*. Разность фаз двух изменяющихся по синусоидальному закону величин.

126. *Начальная фаза*. Значение фазы синусоидально изменяющейся величины в начальный момент времени.

127. *Мгновенная мощность электрического тока*. Мгновенная мощность тока. Величина мощности электрического тока в данный момент времени, равная произведению мгновенных значений э. д. с., действующей в цепи, или напряжения на зажимах цепи и тока, протекающего через цепь.

128. *Действующее значение периодического электрического тока*. Действующее значение тока (эффективное значение периодического электрического тока). Величина постоянного тока, который мог бы за время одного периода произвести тот же тепловой эффект, что и данный периодический ток, равная корню квадратному из среднего квадратичного значения периодического тока.

129. *Постоянная составляющая периодического электрического тока*. Величина постоянного тока, равная среднему значению данного периодического тока за один или несколько целых периодов.

130. *Среднее значение переменного электрического тока*. Среднее значение тока. Величина постоянного тока, равная среднему значению переменного тока за положительный полупериод.

131. *Коэффициент формы периодической кривой*. Коэффициент формы. Отношение действующего значения величины, изображаемой кривой, к ее среднему значению.

Примечание. Среднее значение берется за положительный полупериод.

132. *Кажущаяся мощность периодического электрического тока*. Кажущаяся мощность. Величина, равная произведению действующих значений периодического электрического тока, текущего в электрической цепи, и напряжений на ее зажимах.

133. *Активная мощность периодического электрического тока*. Активная мощность. Среднее значение мгновенной мощности в данной электрической цепи за период.

134. *Коэффициент мощности*. Величина, равная отношению активной мощности к кажущейся.

Примечание. При синусоидальном напряжении и токе коэффициент мощности равен косинусу угла сдвига фаз между напряжением и током.

135. *Эквивалентное синусоидальное напряжение и ток.* Синусоидальное напряжение и ток, действующие значения которых и активная мощность совпадают с действующими значениями и активной мощностью данных периодических тока и напряжения.

136. *Реактивная мощность синусоидального тока.* Реактивная мощность. Корень квадратный из разности квадратов кажущейся и активной мощности.

Примечания: 1. Реактивная мощность равна произведению кажущейся мощности и синуса угла между током и напряжением.

2. Реактивная мощность считается положительной, если ток отстает по фазе, и отрицательной, если ток опережает по фазе напряжение.

137. *Реактивная мощность периодического электрического тока.* Алгебраическая сумма реактивных мощностей гармонических составляющих данного периодического электрического тока.

138. *Мощность искажения периодического электрического тока.* Мощность искажения. Корень квадратный из разности квадратов реактивной мощности эквивалентного данному периодическому синусоидального тока и реактивной мощности периодического тока.

139. *Активное сопротивление цепи периодического электрического тока.* Активное сопротивление. Величина, равная отношению активной мощности, поглощаемой в цепи, к квадрату действующего значения тока в этой цепи.

140. *Активная проводимость цепи периодического электрического тока.* Активная проводимость. Величина, равная отношению активной мощности, поглощаемой в цепи, к квадрату действующего значения напряжения на ее зажимах.

141. *Полное сопротивление цепи синусоидального тока.* Полное сопротивление (импеданс). Величина, равная отношению действующего значения напряжения на зажимах цепи к действующему значению тока в этой цепи.

142. *Полная проводимость цепи синусоидального тока.* Полная проводимость. Величина, равная отношению действующего значения тока, текущего в цепи, к действующему значению напряжения на ее зажимах.

Примечание. Величина полной проводимости цепи, обратная величине полного ее сопротивления.

143. *Реактивное сопротивление цепи синусоидального тока.* Реактивное сопротивление (реактанс). Корень квадратный из разности квадратов полного и активного сопротивлений цепи.

Примечания: 1. Реактивное сопротивление также равно отношению реактивной мощности данной цепи к квадрату действующего значения тока в этой цепи.

2. Реактивное сопротивление равно также произведению полного сопротивления и синуса угла сдвига фаз между током и напряжением.

3. Реактивное сопротивление считается положительным, если ток отстает по фазе, и отрицательным, если ток опережает по фазе напряжение.

144. *Индуктивное сопротивление цепи синусоидального тока.* Индуктивное сопротивление. Реактивное сопротивление, обусловленное индуктивностью цепи и равное произведению величины этой индуктивности и угловой частоты.

145. *Емкостное сопротивление цепи синусоидального тока.* Емкостное сопротивление. Реактивное сопротивление, обусловленное емкостью, включенной в цепь, и равное обратному значению произведения величины этой емкости и угловой частоты.

146. *Реактивная проводимость цепи синусоидального тока.* Реактивная проводимость. Корень квадратный из разности квадратов полной и активной проводимостей цепи.

Примечания: 1. Реактивная проводимость равна также отношению реактивной мощности данной цепи к квадрату действующего значения напряжения на зажимах этой цепи.

2. Реактивная проводимость равна также произведению полной проводимости и синуса угла сдвига фаз между током и напряжением.

3. Реактивная проводимость считается положительной, если ток отстает по фазе, и отрицательной, если ток опережает по фазе напряжение.

147. *Активная слагающая синусоидального тока.* Активная слагающая тока. Величина, равная отношению активной мощности, поглощаемой в данной цепи, к действующему значению напряжения, приложенного к ее зажимам.

Примечание. Активная слагающая тока равна также произведению действующего значения тока и косинуса угла сдвига фаз между током и напряжением.

148. *Активная слагающая синусоидального напряжения.* Активная слагающая напряжения. Величина, равная отношению активной мощности, поглощаемой в данной цепи, к действующему значению тока в этой цепи.

Примечание. Активная слагающая напряжения равна также произведению действующего значения напряжения и косинуса угла сдвига фаз между током и напряжением.

149. *Реактивная слагающая синусоидального тока.* Реактивная слагающая тока. Отношение реактивной мощности данной цепи к действующему значению напряжения на ее зажимах.

Примечание. Реактивная слагающая тока равна также произведению действующего значения тока и синуса угла сдвига фаз между током и напряжением.

150. *Реактивная слагающая синусоидального напряжения.* Реактивная слагающая напряжения. Отношение реактивной мощности данной цепи к действующему значению тока в этой цепи.

Примечание. Реактивная слагающая напряжения равна также произведению действующего значения напряжения и синуса угла сдвига фаз между током и напряжением.

151. *Комплексная амплитуда синусоидального тока.* Комплексная амплитуда тока. Комплексная величина, не зависящая от времени, модуль и аргумент которой равны соответственно амплитуде и начальной фазе данного синусоидального тока.

152. *Комплексное выражение синусоидального тока.* Комплекс тока. Комплексная величина, не зависящая от времени, модуль и аргумент которой равны соответственно действующему значению и начальной фазе данного синусоидального тока.

153. *Комплексное сопротивление цепи синусоидального тока.* Комплексное сопротивление.

Комплексная величина, равная отношению комплексной амплитуды (или комплекса) напряжения на зажимах данной цепи к комплексной амплитуде (или комплексу) тока, текущего в этой цепи.

154. Комплексная проводимость цепи синусоидального тока. Комплексная проводимость. Комплексная величина, равная отношению комплексной амплитуды (или комплекса) тока, текущего в данной цепи, к комплексной амплитуде (или комплексу) напряжения на ее зажимах.

Примечание. Комплексная проводимость — величина, обратная комплексному сопротивлению.

155. Эквивалентное сопротивление цепи или участка цепи синусоидального тока. Эквивалентное сопротивление. Сопротивление, в котором синусоидальное напряжение, равное по величине и фазе напряжению на зажимах данной цепи или ее участка, вызывает такой же по величине и фазе ток, что и в данной цепи или в ее участке.

Примечание. Для цепи или участка цепи постоянного тока эквивалентное сопротивление равно сопротивлению, в котором напряжение, равное напряжению на зажимах данной цепи или ее участка, вызывает такой же ток, что и в данной цепи или в ее участке.

156. Эквивалентная схема. Схема замещения. Электрическая цепь, сопротивление которой эквивалентно сопротивлению данной цепи.

157. Входное сопротивление цепи синусоидального тока. Входное сопротивление. Отношение комплексной амплитуды напряжения на входных зажимах данной цепи к комплексной амплитуде тока, текущего в ней.

Примечание. Для цепи постоянного тока входное сопротивление равно отношению напряжения на зажимах данной цепи к току, текущему в ней.

158. Резонанс. Явление совпадения по фазе синусоидального напряжения на зажимах колебательного контура с током, питающим этот контур.

Примечание. При резонансе источник энергии, питающий контур, отдает контуру только активную мощность.

159. Резонанс напряжений. Последовательный резонанс. Явление резонанса в колебательном контуре, содержащем индуктивность и емкость, последовательно соединенные относительно источника возбуждения.

160. Резонанс токов. Параллельный резонанс. Явление резонанса в колебательном контуре, содержащем индуктивность и емкость, параллельно соединенные относительно источника возбуждения.

161. Резонансная частота. Частота колебаний тока и напряжения в колебательном контуре при резонансе.

Примечание. В колебательном контуре без потерь резонансная частота совпадает с собственной частотой контура.

162. Феррорезонанс. Явление, имеющее место в цепях, содержащих последовательное или параллельное соединение индуктивности со стальным сердечником и емкости, когда с изменением амплитуды приложенного синусоидального на-

пряжения ток скачком изменяет свою величину и знак фазового угла, переходя из одного устойчивого состояния через неустойчивое в другое устойчивое состояние.

VIII. Многофазные системы

163. Однофазная система. Совокупность переменных э. д. с. одной частоты, действующих в отдельной электрической цепи и допускающих замену их одной эквивалентной э. д. с.

Примечание. Под эквивалентной э. д. с. понимается такая э. д. с., которая, будучи включена в электрическую цепь вместо рассматриваемой системы э. д. с., возбуждает в этой цепи токи тех же амплитуд и фаз, что и рассматриваемая система э. д. с.

164. Двухфазная система. Совокупность двух однофазных систем, у которых эквивалентная э. д. с. второй сдвинута по фазе относительно эквивалентной э. д. с. первой на угол $\frac{\pi}{2}$.

165. Многофазная система. Совокупность нескольких однофазных систем с заданным порядком их последовательности, в которых векторы эквивалентных э. д. с. сдвинуты по фазе друг относительно друга на углы, в сумме составляющие 2π .

166. Симметричная многофазная система. Многофазная система, у которой эквивалентные э. д. с. каждой однофазной системы равны друг другу по амплитуде и сдвинуты по фазе друг относительно друга на углы, равные $\frac{2\pi}{m}$, где m — число однофазных систем, составляющих данную многофазную, называемое числом фаз многофазной системы.

167. Трехфазная симметричная система. Совокупность трех однофазных систем, эквивалентные э. д. с. которых одинаковы по амплитуде и сдвинуты по фазе друг относительно друга на углы, равные $\frac{2\pi}{3}$.

168. Уравновешенная многофазная система. Многофазная система, мгновенная мощность которой постоянна и равна средней мощности.

169. Однофазная цепь. Отдельная электрическая цепь, в которой действует однофазная система э. д. с.

170. Многофазная цепь. Совокупность однофазных цепей, в которых действует многофазная система э. д. с.

171. Фаза. Однофазная цепь, входящая в состав данной многофазной.

172. Связанная многофазная цепь. Многофазная цепь, в которой отдельные фазы электрически соединены друг с другом.

173. Симметричная многофазная цепь. Многофазная цепь, в которой комплексные сопротивления составляющих ее фаз одинаковы.

174. Несимметричная многофазная цепь. Многофазная цепь, в которой комплексные сопротивления составляющих ее фаз неодинаковы.

175. Симметричные составляющие несимметричной многофазной системы. Три многофазные

системы, с тем же числом фаз, что и данная несимметричная многофазная система, на которые эта система может быть разложена, состоящие из:

1) системы нулевой последовательности, в которой векторы совпадают по амплитуде и фазе;

2) системы прямой последовательности, симметричной системы, в которой векторы расположены в той же последовательности, что и в данной несимметричной системе;

3) системы обратной последовательности, симметричной системы, в которой векторы имеют обратную последовательность сравнительно с данной.

IX. Переходные процессы

Примечание. Термины № 177, 178, 179, 180 и 181, относящиеся к току, могут применяться и в отношении к напряжению, э. д. с., заряду и т. д.

176. Переходный процесс в электрической цепи.

Переходный процесс. Неустановившийся процесс. Нестационарный процесс. Электромагнитный процесс, возникающий в электрической цепи при:

1) изменении сопротивлений, индуктивностей и емкостей цепи и 2) изменении токов, текущих в цепи, и напряжений, приложенных к цепи или к ее участкам.

177. Вынужденный электрический ток. Принужденный электрический ток. Периодический или постоянный электрический ток, устанавливающийся в электрической цепи при воздействии на цепь источника периодической или постоянной э. д. с. или напряжения, после окончания переходного процесса.

178. Переходный электрический ток. Нестационарный ток. Неустановившийся ток. Электрический ток, существующий в цепи в течение времени переходного процесса.

Примечание. Переходный ток равен алгебраической сумме свободного и вынужденного электрического тока.

179. Свободный электрический ток. Электрический ток, возникающий в электрической цепи за счет запаса электромагнитной энергии, имеющейся в этой цепи, при отсутствии внешнего источника энергии.

Примечание. В переходных процессах свободный ток равен разности между переходным и вынужденным током.

180. Свободный колебательный ток. Свободный электрический ток, совершающий колебания.

181. Свободный аperiodический ток. Свободный ток, монотонно изменяющийся во времени.

182. Переходная проводимость. Функция времени, размерности проводимости, равная отношению переходного тока в электрической цепи или в ее участке при включении этой цепи или ее участка к постоянному напряжению, к величине этого напряжения.

183. Колебательный контур. Электрическая цепь, содержащая индуктивность и емкость, в ко-

торой возможны свободные колебания тока и напряжения.

184. Собственная частота колебательного контура. Собственная частота. Частота свободных колебаний тока и напряжения, возникающих в колебательном контуре.

185. Затухание. Уменьшение интенсивности физического процесса с течением времени, связанное обычно с рассеянием энергии этого процесса.

186. Логарифмический декремент затухания. Логарифмический декремент. Характеристика затухания колебательного процесса, равная логарифму отношения двух мгновенных значений колеблющейся величины, взятых через один период.

187. Постоянная времени контура. Промежуток времени, в течение которого переходный процесс затухает в $e = 2,718$ раз.

188. Поглощение. Уменьшение интенсивности физического волнового процесса при его распространении в пространстве, связанное обычно с рассеянием энергии этого процесса.

X. Цепи с распределенными постоянными

189. Электрическая цепь с сосредоточенными постоянными. Электрическая цепь, в которой сопротивление, индуктивность и емкость в зависимости от условий режима цепи могут считаться сосредоточенными на отдельных участках цепи и не влияющими друг на друга.

190. Электрическая цепь с распределенными постоянными. Электрическая цепь, в которой сопротивление, индуктивность и емкость распределены по длине всей цепи или ее участков.

191. Волновое сопротивление. Характеристическое сопротивление. Отношение комплексной амплитуды напряжения к комплексной амплитуде тока в бегущей вдоль линии синусоидальной электромагнитной волне.

192. Коэффициент распространения. Комплексная величина, характеризующая изменение по модулю и аргументу комплексной амплитуды бегущей вдоль линии синусоидальной волны напряжения и тока при ее перемещении на единицу длины и равная логарифму отношения комплексных амплитуд тока (или напряжения) для двух точек линии, отстоящих друг от друга на единицу длины.

193. Коэффициент поглощения. Величина, характеризующая уменьшение амплитуды бегущей вдоль линии волны тока и напряжения при перемещении волны на единицу длины и равная действительной части коэффициента распространения.

194. Коэффициент фазы. Волновое число. Величина, характеризующая изменение фазы синусоидальной волны тока и напряжения при перемещении волны на единицу длины и равная мнимой части коэффициента распространения.

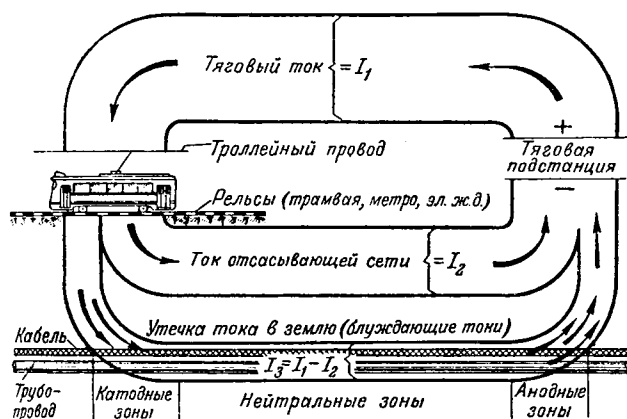


ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ДЕЙСТВИЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Коррозия подземных металлических сооружений городов возникает вследствие воздействия на металлические массы как агрессивных элементов почвы (почвенная коррозия), так и блуждающих токов от электрического рельсового транспорта (электрокоррозия). Часто оба вида коррозии действуют одновременно.

Блуждающие токи производят наиболее сильное повреждение подземных сооружений в условиях большого города. Схема возникновения блуждающих токов и баланс токов рельсового электрического транспорта изображены на рисунке. Для трубопроводов опасны анодные, а для освинцованных кабелей иногда и катодные зоны, в которых происходит коррозионное разрушение металла.

По исследованиям Мосгоргеотреста в одном из районов Москвы блуждающие токи от линии метрополитена достигали 10 а. Плотность этих токов в местах повреждений превышала безопасную для газопроводов величину в десятки раз.



Наиболее эффективной защитой от блуждающих токов в существующих подземных сооружениях являются средства электрозащиты — электродренажи, катодная защита, протекторы.

Статья рассматривает меры предупреждения коррозии, обращает внимание работников энергетических служб городов на важность постоянных измерений и испытаний действующих блуждающих токов, на необходимость создания специальных противокоррозионных групп, контролирующих состояние сооружений, и на подготовку кадров специалистов по борьбе с подземной коррозией в городском хозяйстве.

(Городское хозяйство Москвы, № 7, стр. 25, 1952, Л. И. Акинфиев).

БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ НА ВЕЛИКИХ СТРОЙКАХ

Великие стройки поставили перед наукой о сварке ряд важных проблем по разработке новых технологических процессов и создание оборудования для контактной сварки малоуглеродистой стали больших сечений и стали повышенной прочности, а также разработку способов повышения износостойкости и восстановления изношенных деталей строительных машин и механизмов. Все эти вопросы имеют большое народнохозяйственное значение.

Ближайшие задачи по развитию сварки арматурных конструкций сводятся к следующему: а) усовершенствование контактной сварки и расширение области ее применения; б) усовершенствование способов сварки стыков стержней арматуры на монтаже; в) применение полуавтоматической и автоматической сварки под флюсом.

Контактную сварку целесообразно использовать на арматурно-сварочных заводах, а стыковую для сварки стыков стержней в непрерывную нитку, точечную для поперечного соединения стержней при изготовлении отдельных стержневых элементов ферм, каркасов плит, оболочек и ферм на плазах.

Должны быть выпущены специальные стыковые машины, позволяющие сваривать на автоматическом режиме стержни диаметром до 120 мм. Требуется приспособить имеющиеся высокопроизводительные машины для сварки стержней меньшего диаметра в непрерывную нитку. Надо создать специализированные машины для расширения точечной сварки, позволяющие вести высококачественную сварку вкрест и внахлестку стержней диаметром до 100 и до 60 мм как в монтажных условиях, так и на арматурно-сварочных заводах.

Для повышения износостойкости строительных механизмов необходимо разработать высокопроизводительные способы автоматической наплавки твердых сплавов и внедрить их в практику восстановления изношенных машин и в производство новых установок.

Процесс наплавки для восстановления на строительстве изношенных деталей агрегатов разделяется на два этапа: автоматическая наплавка на изношенную поверхность слоя малоуглеродистой стали с целью восстановления размеров изношенной детали и автоматическая наплавка на восстановленную поверхность слоя твердого сплава.

Современное состояние науки о сварке показывает ведущую и прогрессивную роль советской науки в этом отношении.

Литература

1. В. П. Никитин. Ближайшие задачи развития сварочной техники на великих стройках коммунизма. Известия Академии наук СССР, Отделение техн. наук, стр. 986, № 7, 1952.
2. В. П. Никитин. Основные проблемы науки и техники электрической сварки металлов. Вестник Академии наук СССР, стр. 9, № 5, 1952.

ЗА РУБЕЖОМ

АЛЮМИНИЕВЫЕ ПРОВОДА В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ

В современных самолетах вес кабелей достигает 32% веса всего электрооборудования. Снижение веса кабеля на 20 ... 45 кг в одном самолете достигается в настоящее время заменой части медных кабелей и проводов алюминиевыми. Голый алюминиевый провод весит в 2 раза меньше медного провода того же сопротивления, но вследствие того, что диаметр алюминиевой жилы больше медной, возрастают объем и вес изоляции, поэтому для кабелей крупных сечений экономия в весе не превосходит 44%. Общая экономия в весе зависит от размеров проводов, протяженности сети и напряжения. Чем больше самолет, тем более развита его сеть и тем выше экономия. С уменьшением напряжения экономия возрастает. Так, на одном самолете замена только половины медного кабеля алюминиевым при напряжении 30 в дала экономию в весе на 61 кг.

Основная проблема состоит в разработке наконечников и соединителей. Это обусловливается быстрой окисляемостью алюминия и подверженностью его коррозии при контакте с медью в сырой или насыщенной солями атмосфере. Окисленные поверхности внутренних прядей (стренг) создают переходные сопротивления. Поэтому разрыв на периферии кабеля нескольких прядей, которые создают контакт с наконечником, приводит к более серьезным последствиям, чем в медных кабелях. Коррозия является также причиной к повышению переходного сопротивления.

Соединение наконечника с алюминиевым кабелем можно осуществить сваркой, пайкой, обжимом и прессовкой. Сварка дает хороший контакт, но она малоудобна, дорога и появляется опасность сжигания изоляции. При пайке, несмотря на применение специальных электродов и флюсов,

трудно добиться надежного пропаивания внутренних прядей. Обжимные наконечники имеют большие размеры и вес и более подвержены действию атмосферы. Из наконечников, заделываемых методом опрессовки, наиболее распространены наконечники с продольным углублением и равномерно обжатые (в виде шестигранника), рис. 1.

В первом типе при прессовке внутренние пряди резко сдвигаются и оксидный слой сдвигается. U-образная форма углубления хорошо противодействует стремлению кабеля разжаться. Наконечники делаются из алюминиевых трубок, закаленных в процессе обработки. Это предупреждает «холодное течение» алюминия при сильном сжатии наконечников болтами и гайками.

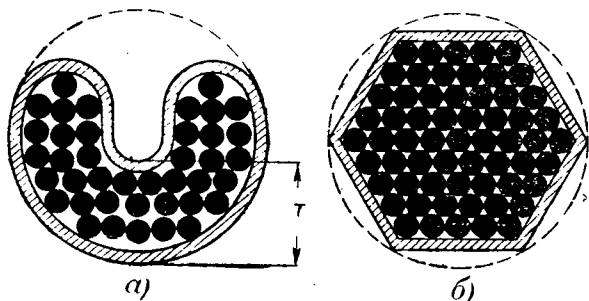


Рис. 1. Поперечные разрезы концевых соединений после прессовки.

Дальнейшее уменьшение переходного сопротивления достигается применением заполняющих составов, содержащих иногда цинковый порошок. Этими составами трубчатая часть наконечника наполняется на заводе. При прессовке частицы металлического цинка продавливают оксидную пленку и уменьшают переходное сопротивление. Кроме того, заполняющие составы препятствуют образованию новых оксидных пленок и коррозии. Иногда заполняющий состав предварительно впрыскивается в оголенный конец кабеля.

В некоторых случаях применяется покрытие наконечника другими металлами. Наилучший эффект дает вначале цинк, но при эксплуатации контактная поверхность темнеет и переходное сопротивление возрастает. Поэтому чаще всего применяют лужение. Заделка наконечника производится ручным гидравлическим инструментом (рис. 2) или пнев-

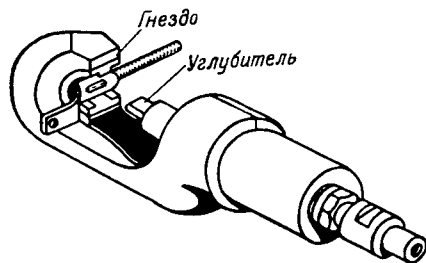


Рис. 2. Ручной гидравлический инструмент для заделки наконечника с углублением.

матическим, устанавливаемым стационарно. После заделки трубчатую часть наконечника и некоторую долю изоляции кабеля покрывают виниловой лентой и обмазывают составом, предохраняющим от окисления и коррозии. Для сращивания медных и алюминиевых кабелей применяются специальные луженые соединители. Они представляют собой медный цилиндр с двумя трубками на концах: алюминиевой — для заделки алюминиевого кабеля и медной — для заделки медного кабеля.

Голые алюминиевые шины соединяют, покрывая их участки в месте стыка серебром или оловом. В редких случаях прибегают к простой очистке от оксидного слоя и смазке зачищенных мест составами, препятствующими окислению.

Надежность заделки наконечника проверяется измерением падения напряжения и по температуре в месте соединения при пропуске предельно допустимого тока. Считается, что для всех сечений и типов наконечников кабелей падение напряжения не должно превышать 20 мВ, а максимальная температура перегрева 21°С. Высота T (рис. 1) также слу-

жит мерилем качества соединения, так как она характеризует величину давления и эффект стирания оксидных пленок на прядях. По мере уменьшения величины T выдерживающее усилие сначала растет, а затем падает вследствие деформации прядей. При значении T , соответствующем наибольшему выдерживающему усилию, наступает обычно и наибольшая относительная проводимость соединения (отношение проводимости концевое соединения к проводимости отрезка целого кабеля той же длины). Относительная проводимость достигает 120%.

Алюминиевые кабели не рекомендуются для установок, подверженных частым перемещениям (сварочные аппараты), вибрациям и т. п. Однако сейчас разрабатываются наконечники с трубчатой частью, имеющей увеличивающийся диаметр и покрывающей часть изоляции кабеля. Такие наконечники передают усилия, возникающие при изгибах и вибрациях, на изоляцию и уменьшают опасность излома жилы.

(Transactions, AIEE, т. 69, стр. 1335, 1950)

Кандидат техн. наук Д. С. КРИВОЗУБ

ПОДЗЕМНЫЕ КАБЕЛЕПРОВОДЫ

Кабелепровод представляет собой уложенную в землю составную трубу, в которую вводится кабель. Такой способ прокладки является очень дорогим и применяется в городах с большой плотностью нагрузки. Первоначальные крупные затраты окупаются сравнительно сниженными эксплуатационными расходами.

Материалом для кабелепроводов служат сталь, керамика, дерево, бетон, железобетон, пластмассы, фибра и др. Идеальным является тот, который дешев, гладок, хорошо рассеивает тепло, не обладает магнитными свойствами, не вреден для оболочки кабеля, требует меньше расходов при установке, не разрушается со временем, легко восстанавливается при повреждении. Наиболее часто применяются стальные и бетонные кабелепроводы, а также кабелепроводы из стекловидного кирпича и асбоцемента. Диаметр кабелепровода должен быть на $\frac{1}{2}$ больше диаметра окру-

жности, охватывающей все кабели, укладываемые в кабелепровод. Строительная длина кабелепровода зависит от материала, но не превышает 3,1 м. Одноточные кабелепроводы имеют сечение круглой формы. При группе из трех и более кабелепроводов наружное очертание каждого кабелепровода должно быть квадратом. Это позволяет располагать кабелепроводы в вертикальный или горизонтальный ряд без сепараторов или бетонных кожухов. На рис. 1 показаны основные формы групп из кабелепроводов, обеспечивающих хороший отвод тепла.

Трасса кабелепровода обычно проходит вдоль части мостовой, прилегающей к тротуару. Если требуется проложить более чем одну питающую линию в одном направлении, то целесообразно использовать для этого две параллельные улицы, что исключит возможность одновременного повреждения линий. Число изгибов на участке между кабельными колодцами не должно превышать одного-двух, так как в противном случае возрастает усилие для протаскивания кабеля. Радиус изгиба более чем 8 диаметров канала трубопровода недопустим. Длина секции кабелепровода диктуется местоположением кабельных колодцев и боксов для присоединения потребителей. Если в этих устройствах нужды нет, то длина секции определяется усилием, допустимым для данного кабеля при его протаскивании. Чтобы уменьшить это усилие, применяют различного рода смазки.

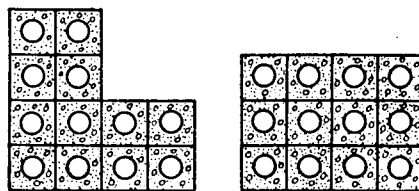


Рис. 1.

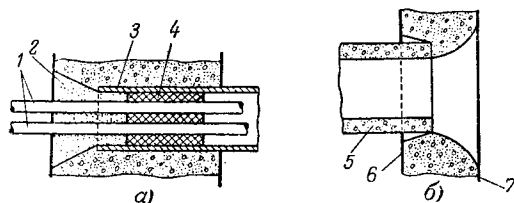


Рис. 2. Заделка кабелепровода в колодце.

1—кабели; 2—герметизирующий состав; 3—кабелепровод; 4—жгут; 5—бетонный кабелепровод; 6—наружная поверхность стены колодца; 7—внутренняя поверхность стены колодца

Кабелепроводы укладываются в предварительно отрытую траншею, отстоящую от смежных коммуникаций и конструкций на 300 мм.

В каменистых почвах на дне траншей устраивают земляную подсыпку. В слабых почвах кабелепроводы укладывают на бетонные плиты или на помост из деревянных брусков, иногда на прогоны, опирающиеся на сваи. Укладка кабелепроводов в траншею осуществляется вручную. Несколько стальных труб или иных кабелепроводов с готовыми соединениями сначала соединяются на поверхности, а потом опускаются в траншею. Кабелепроводы, отлитые предварительно из бетона или в виде пустотелых стекловидных кирпичей, собираются в траншее. Тонкостенные металлические кабелепроводы (фибра, асбоцемент, иногда стекловидные кирпичи) заключают в общую бетонную оболочку.

В тех местах, где нельзя отрыть траншею, прибегают к сверлению отверстий диаметром до 500 мм и длиной до 30 м или к вдавливанию труб в горизонтальном направлении с помощью домкратов (переходы через железные дороги, шоссе и т. п.).

Минимальная толщина покрытия над группой кабелепроводов зависит от типа кабелепроводов, условий рассеяния тепла и транспортных нагрузок. Толщина слоя в 450 мм приемлема со всех точек зрения. Если же толщина покрытия оказывается малой, а нагрузки велики, то кабелепроводы защищают стальными плитами или деревянными брусками, пропитанными креозотом.

Водонепроницаемость между кабельным колодцем и группой кабелепроводов достигается цементированием в месте ввода. Но это дает негибкое соединение, могущее привести к трещине. Поэтому чаще применяют герметизирующие составы, не твердеющие со временем (рис. 2,а). Окно в кабельном колодце должно быть таким, чтобы не повредить кабель при протаскивании (рис. 2,б).

Если уклон кабелепровода велик, то попеременное сжатие и удлинение при охлаждении и нагревании заставляют кабель ползти к нижнему колодцу. Это предупреждают установкой зажимов, охватывающих кабель в нескольких местах в вышерасположенном колодце.

Отпайки к потребителям устраиваются так же, как и питающие линии. В случае крупных потребителей они делаются из того же материала, той же конструкции и с тем же числом кабелепроводов. Малые потребители (отдельные дома, уличные фонари) снабжаются по одиночным кабелепроводам из любого материала. Присоединение к питающему кабелепроводу осуществляется следующим образом: кабелепровод отводится в сторону к небольшому кабельному колодцу и здесь осуществляется разветвление кабеля к нагрузкам с помощью нескольких кабелепроводов.

Обычно на съездах с мостов применяют железобетонные кабелепроводы, на самих мостах — одиночные стальные трубы.

(Transactions, AIEE, т. 69, стр. 1582, 1950)

Кандидат техн. наук Д. С. КРИВОЗУБ

К РАСЧЕТУ МЕХАНИЧЕСКИХ УСИЛИЙ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

(Обзор)

Несмотря на большое количество работ, посвященных расчету механических усилий в обмотках трансформаторов, этот вопрос продолжает привлекать к себе внимание. В реферируемых статьях приводится методика расчета осевых и радиальных усилий и расчет механической

прочности внутренней обмотки при воздействии на нее радиальных усилий.

Рассмотрим предлагаемый метод расчета усилий. Первичная и вторичная обмотки одинаковой высоты с равномерной плотностью ампервитков (рис. 1,а) не испытывают осевых усилий, действующих на опорную конструкцию. Верхняя и нижняя половины обмотки 1 стягиваются внутренней силой, равной алгебраической сумме сил взаимодействия между половиной обмотки 1а и частями 1б, 2б, а также их отражениями 1'б и 2'б. Обмотки можно рассматривать как бесконечно длинные шины, пренебрегая их отражением в ярмах.

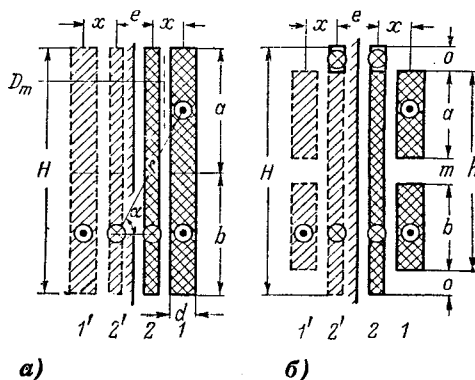


Рис. 1. Расположение обмоток.

а — без разрыва в обмотке; б — с разрывом в одной из обмоток.

Если I — суммарные максимальные ампервитки (произведение ударного тока короткого замыкания i_p на число витков w) первичной или вторичной обмотки, то частичные осевые усилия, действующие на половину шины 1а, можно представить как результат взаимодействия бесконечно длинных тонких проводников, ток которых можно считать сконцентрированным в середине соответствующей половины обмотки. Тогда для общего случая рис. 2 отдельные осевые усилия на 1 см окружности обмоток (длины шин) можно определить по следующей формуле:

$$f_{o.k} = 2 \frac{I_1 I_2}{10^8} \frac{\sin \alpha}{r} \frac{1}{K} \text{ кг/см}, \quad (1)$$

$$f_{o.k} = 2 \frac{I_1 I_2}{10^8} \frac{2}{H} \frac{1}{1 + \left(2 \frac{x}{H}\right)^2} \frac{1}{K} \text{ кг/см}, \quad (1a)$$

где I_1 и I_2 — сконцентрированные в серединах соответствующих шин ампервитки ударного тока;

r — расстояние между серединами шин, см;

α — угол между r и горизонталью;

H — полная высота, см;

a — высота меньшей шины, см.

Поправочный коэффициент K , учитывающий конечное токораспределение вдоль шины, определяют по кривым рис. 2 в функции отношения высот $\frac{a}{H}$ и горизонтального

расстояния $\frac{x}{H}$ осей шин. Этот коэффициент представляет собой отношение действительной силы, возникающей между обтекаемыми током шинами, к осевому усилию между бесконечно тонкими проводниками, сконцентрированными в серединах шин.

В большинстве случаев толщиной шины d можно пренебречь. Однако при расчете усилий между частями одной и той же шины (обмотки), когда $\frac{x}{H} = 0$, толщину d необходимо учитывать, определяя коэффициент K по рис. 2 в зависимости от величины отношения $\frac{d}{H}$.

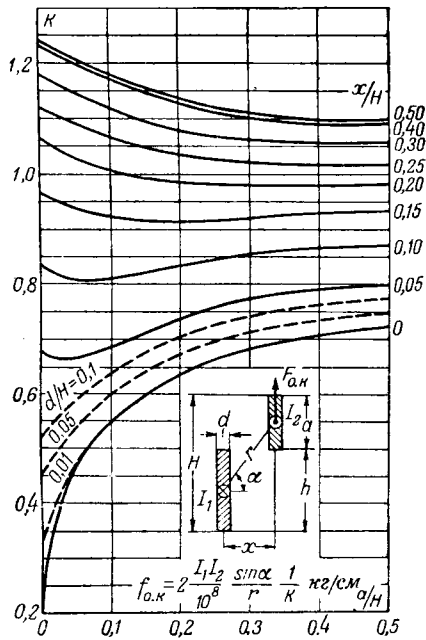


Рис. 2. К расчету осевых усилий.

Расчет осевых усилий с учетом направления токов ведется следующим образом. Для вычисления силы, действующей на какую-либо часть шины, необходимо последовательно с помощью формулы (1а) определить частичные усилия, действующие на эту часть шины, и затем их алгебраически сложить. При этом части шин, которые по высоте непосредственно не примыкают к рассматриваемой нами части шины, сначала рассматриваются как примыкающие с соответствующим увеличением их доли ампервитков; затем часть усилия, приходящаяся на этот добавленный отрезок шины, вычитается. Частичным усилиям, действующим на опорную конструкцию, присваивается положительный знак; отрицательный знак присваивается внутренним усилиям, не передающимся на опорную конструкцию.

Рассмотрим применение описываемого метода расчета на примере: вычислим осевое усилие, действующее на половину шины 1а, обтекаемую током $I_1 = \frac{I}{2}$ (рис. 1,б).

Пример 1. Трехфазный масляный трансформатор 160 кВа, 35 000/400 в, 2,64/231 а.

$H = 48,6$ см; $h = 46$ см; $o = 1,3$ см; $D_m = 20,9$ см,

$d_1 = 2,4$ см; $x = 3,6$ см; $e = 2,3$ см.

Первичная обмотка состоит из $w = 4286$ витков/стержень, распределенных на 22 катушки.

Расчет производим для случая, когда в середине обмотки отключено 4 катушки. При этом высота обесточенной зоны $m = 8,4$ см. Вычисляем 8 частичных усилий, действующих на рассматриваемую часть шины 1а:

1. Часть $b+m$ шины 1 (усилие притягивающее —)

$$I_2 = \frac{b+m}{b} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = 0; \left(\frac{a}{H}\right) = \frac{a}{a+b+m};$$

$$\left(\frac{d}{H}\right) = \frac{d}{a+b+m}; K = 0,74;$$

$$f_{o,k} = -0,0426 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

2. Часть m шины 1 (усилие отталкивающее +)

$$I_2 = \frac{m}{b} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = 0; \left(\frac{a}{H}\right) = \frac{m}{a+m};$$

$$\left(\frac{d}{H}\right) = \frac{d}{a+m}; K = 0,745;$$

$$f_{o,k} = +0,022 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

3. Часть $b+m$ шины 1' (усилие притягивающее —)

$$I_2 = \frac{b+m}{b} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = \frac{2x+e}{a+b+m};$$

$$\left(\frac{a}{H}\right) = \frac{a}{a+b+m}; K = 0,985;$$

$$f_{o,k} = -0,0274 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

4. Часть m шины 1' (усилие отталкивающее +)

$$I_2 = \frac{m}{b} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = \frac{2x+e}{a+m};$$

$$\left(\frac{a}{H}\right) = \frac{m}{a+m}; K = 1,08;$$

$$f_{o,k} = +0,0103 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

5. Часть $b+m+o$ шины 2 (усилие отталкивающее +)

$$I_2 = \frac{b+m+o}{b+\frac{m}{2}+o} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = \frac{x}{a+b+m+o};$$

$$\left(\frac{a}{H}\right) = \frac{a}{a+b+m+o}; K = 0,83;$$

$$f_{o,k} = +0,0292 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

6. Часть $b+m+o$ шины 2' (усилие отталкивающее +)

$$I_2 = \frac{b+m+o}{b+\frac{m}{2}+o} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = \frac{x+e}{a+b+m+o};$$

$$\left(\frac{a}{H}\right) = \frac{a}{a+b+m+o}; K = 0,9;$$

$$f_{o,k} = +0,026 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

7. Часть o верхней половины шины 2 (усилие отталкивающее —)

$$I_2 = \frac{o}{a+\frac{m}{2}+o} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = \frac{x}{a+o};$$

$$\left(\frac{a}{H}\right) = \frac{o}{a+o}; K = 0,99;$$

$$f_{o,k} = -0,00239 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

8. Часть o верхней половины шины 2' (усилие отталкивающее —)

$$I_2 = \frac{o}{a+\frac{m}{2}+o} \frac{I}{2}; \left(\frac{x}{H}\right) = \frac{x+e}{a+o};$$

$$\left(\frac{a}{H}\right) = \frac{o}{a+o}; K = 1,135;$$

$$f_{o,k} = -0,00175 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

Находим алгебраическую сумму отдельных частичных усилий:

$$\Sigma f_{o,k} = +0,0133 \cdot 10^{-8} I^2 \text{ кг/см.}$$

Полное осевое усилие на половину обмотки 1а (рис. 1,б) будет:

$$F_{o,k} = \Sigma f_{o,k} \pi D_m (i_p w)^2 10^{-8} = +0,16 i_p^2 \text{ кг.}$$

Если ударный ток короткого замыкания $i_p = 130$ а, то осевое усилие, передаваемое обмоткой на опорную конструкцию, получается:

$$F_{o,k} = 0,16 \cdot 130^2 \cdot 10^{-8} = 2,7 \text{ т.}$$

Принципиально тем же методом можно вычислить радиальное усилие между двумя шинами (обмотками) одинаковой высоты:

$$f_{p,k} = 2 \frac{I_1 I_2 K}{10^8 x} \text{ кг/см,} \quad (2)$$

где x — расстояние между осями шин, см;

K — коэффициент, зависящий от отношения $\frac{x}{H}$ и определяемый по кривой рис. 3. При малых значениях $\frac{x}{H}$, что обычно имеет место, $K = \pi \frac{x}{H}$;

тогда

$$F_{p,\kappa} = 2 \frac{I_1 I_2}{10^8} \frac{\pi}{H} \pi D_m \text{ кг.} \quad (3)$$

В эксплуатационных условиях наибольшее число разрушений обмоток происходит под действием осевых усилий. Поэтому при расчетах трансформаторов радиальными усилиями обычно уделяется меньше внимания. Однако с ростом мощности трансформаторов и этот вопрос приобретает большой интерес. В технической литературе

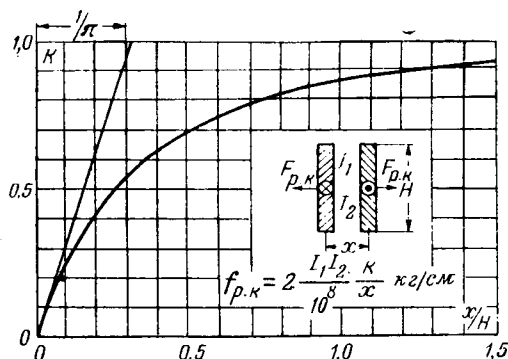


Рис. 3. К расчету радиальных усилий.

опубликован ряд работ, в которых исследуется прочность наружной обмотки при радиальных усилиях, и почти совсем нет данных, позволяющих рассчитать механическую прочность внутренней обмотки (имеются в виду концентрические обмотки) с точки зрения воздействующих на нее радиальных усилий. В то же время в эксплуатации практически не встречаются случаи повреждения наружных обмоток под действием радиальных усилий, тогда как известен ряд случаев повреждения внутренней обмотки радиальными усилиями, в частности, у мощных автотрансформаторов, работающих вблизи электростанции и осуществляющих связь между двумя мощными системами.

Было бы неправильно вести расчет внутренней обмотки, считая, что каждый ее проводник представляет собой прямую балку на двух опорах, воспринимающую на длине между двумя опорами (стержнями) равномерно распределенную нагрузку от радиальных усилий. В действительности круглая обмотка обладает значительно большей жесткостью.

Внутреннюю обмотку можно сравнить с трубой, которая выдерживает некоторое давление без всяких опор; лишь когда внешнее давление превысит некоторое критическое значение, наступает ее разрушение. Для повышения этого давления можно предусмотреть либо внутренние опоры, создающие направленные наружу силы, либо наружные опоры, создающие силы, направленные внутрь (рис. 4). Применительно к внутренней обмотке трансформатора это означает, что для повышения ее механической прочности могут служить либо конструктивные детали, удерживающие ее относительно стержня магнитопровода, либо рейки, расположенные в канале рассеяния между внутренней и наружной обмотками. Из конструктивных соображений не всегда возможно обеспечить достаточное количество опорных деталей между обмоткой и стержнем, и поэтому следует ориентироваться на рейки, расположенные в канале рассеяния и опирающиеся на наружную обмотку, которая под действием тех же радиальных усилий стремится принять круглую форму.

Исходя из критического внешнего давления, выдерживаемого трубой определенных размеров и с определенным числом внешних опор, можно вывести формулу для

подсчета минимального необходимого числа реек $Z_{мин}$ между внутренней и наружной обмотками трансформатора:

$$Z_{мин} = 2 \sqrt{1 + \frac{1,75 \cdot F_{p,\kappa}}{E \Sigma q} \left(\frac{l_m}{2\pi b} \right)^2}, \quad (4)$$

где $F_{p,\kappa}$ — радиальное усилие на всю обмотку, кг;
 E — модуль упругости материала провода обмотки, кг/см² (для меди $E = 1\,150\,000$ кг/см²);
 l_m — средняя длина витка внутренней обмотки, см;
 Σq — суммарное поперечное сечение провода обмотки, см², причем

$$\Sigma q = n_{осев} n_{рад} a b \text{ см}^2,$$

где $n_{осев}$ — число проводов обмотки в осевом направлении;
 $n_{рад}$ — число проводов обмотки в радиальном направлении;
 a — осевой размер провода, см;
 b — радиальный размер провода, см.

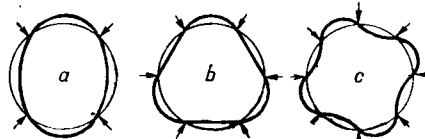


Рис. 4. Внутренняя обмотка трансформатора с наружными опорами.
 a — 4 опоры; b — 6 опор; c — 8 опор

Если число реек в канале рассеяния будет меньше вычисленного по формуле (4), то внутренняя обмотка под действием радиальных усилий $F_{p,\kappa}$ может разрушиться в результате продольного изгиба. Если же $Z_{мин} < 4$, то необходимость в опорах вообще отсутствует, так как у неопертой обмотки все равно получается 4 узловых точки (рис. 4).

Под действием радиальных усилий возможен не только продольный изгиб внутренней обмотки, но и простое ее сжатие с сохранением ею круглой формы и с соответствующим уменьшением ее диаметра. С ростом числа опор сверх минимально необходимого $Z_{мин}$ прочность обмотки на продольный изгиб возрастает и при некотором числе опор $Z_{макс}$ ее прочность на продольный изгиб достигает прочности на сжатие. Это число реек $Z_{макс}$ можно вычислить по следующей формуле:

$$Z_{макс} = 2 \sqrt{1 + \frac{11 \sigma_s}{E} \left(\frac{l_m}{2\pi b} \right)^2}, \quad (5)$$

где σ_s — предел текучести материала обмоточного провода, кг/см² (для меди можно считать $\sigma_s = 600$ кг/см²), остальные обозначения те же, что и в формуле (4).

Большее число реек, чем $Z_{макс}$, применять нецелесообразно, так как это не привело бы к повышению механической прочности обмотки.

Пример 2. Трансформатор 12 500 кВА со следующими данными: $\Sigma q = 26\,500$ мм², $l_m = 1,77$ м, $b = 2,5$ мм, $F_{p,\kappa} = 435$ т.

Минимальное необходимое число реек

$$Z_{мин} = 10,9.$$

Выбираем 12 реек в канале рассеяния между внутренней и наружной обмотками.

Максимальное целесообразное число реек

$$Z_{макс} = 17,2.$$

Литература

1. Е. Festl. ETZ, стр. 173, № 6, т. 72, 1951.
2. E. Fischer. ETZ, стр. 121, № 5, т. 73, 1952.

Инж. А. Г. КРАЙЗ



ЗАОЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ЧИТАТЕЛЕЙ ЖУРНАЛА „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

После обращения редакции к читателям (*Электричество*, № 2, 3, 4, 1952 г.) поступили и поступают в настоящее время замечания и соображения читателей журнала *«Электричество»* относительно содержания журнала.

Часть писем (в сокращенном изложении) помещается ниже. Публикация отзывов и предложений читателей будет продолжена. Редакция приглашает читателей принять активное участие в обсуждении вопросов издания журнала и своими критическими замечаниями содействовать в итоге данной заочной читательской конференции достижению плодотворных для журнала результатов. Редакционная коллегия журнала рассматривает мнения и рекомендации читателей и примет решение по поднятым вопросам. Решение редколлегии будет опубликовано.

УСТРАНИТЬ ОТДЕЛЬНЫЕ НЕДОСТАТКИ

Журнал *«Электричество»* — один из старейших в мире электротехнических журналов — неизменно пользуется заслуженным авторитетом среди самых широких кругов, электриков Советского Союза. Научные работники-электрики, инженерно-технические работники электростанций и заводов электропромышленности рассматривают журнал *«Электричество»* в качестве своего постоянного руководства: в этом журнале можно почерпнуть необходимые материалы по многим интересующим их вопросам новейшей электротехники и научным проблемам в области электричества.

Ценным качеством журнала является его универсальность, что делает его одинаково необходимым специалистам различных профилей: наряду с общетеоретическими вопросами электротехники в журнале широко представлены разделы электрических машин, электрических станций и систем, электропривода, электрического транспорта, автоматики, телемеханики, истории техники и т. д. Ознакомление любого специалиста со статьями по родственным уклонам всегда способствует расширению кругозора.

Заслугой журнала является печатание обзорных статей по важнейшим разделам электротехники. Большой интерес, в частности, представляют помещенные за последние годы статьи: Б. С. Успенского «Гидроэлектрические станции большой мощности», М. П. Костенко «Электродинамическая модель для исследования устойчивости», Б. М. Вула «Современное состояние физики диэлектриков», Н. П. Иванова и Г. Н. Петрова «Гидрогенераторы» и др. В дальнейшем объем обзорных статей по актуальнейшим проблемам новейшей техники необходимо расширить.

Значительно облегчает чтение многих теоретических статей вынос в приложения ряда математических преобразований, а также печатание отдельных частей статьи различным шрифтом. Это мероприятие расширяет круг читателей, делая журнал в целом более доступным для читателей с различной квалификацией и теоретической подготовкой.

Редакция поступает правильно, требуя при приеме статей к печати иллюстрирования принципиальных выводов и расчетов численными примерами; это значительно облегчает использование материала в заводской практике. С этой точки зрения можно отметить ряд статей, практическая ценность которых невелика, вследствие того, что расчетная методика в статьях дана в общем виде, без указания путей конкретных решений. Например, в статье Т. Г. Сорокера и Е. М. Лопухиной «Основы теории однофазного двигателя с короткозамкнутым витком на полюсе» (№ 7, 1951) не приведено ни одной цифры, нет обоснования расчета конкретного двигателя. В статье Р. А. Браммера «Энергетический метод расчета синхронно-реактивных двигателей» (№ 12, 1951) в заключение даны кривые, показывающие хорошее совпадение опыта с расчетом, но самый расчет не приведен. Редакция должна строго придерживаться своей собственной установки: не принимать к печати статей, в которых расчетная методика не иллюстрирована числовыми примерами.

Необходимо расширить дискуссионный отдел.

Особое внимание необходимо уделять в журнале освещению достижений периферийных заводов электропромышленности. На многих заводах накоплен большой опыт в конструировании новых оригинальных конструкций, и редакции журнала необходимо более настойчиво привлекать работников заводов электропромышленности к участию в журнале в качестве его авторов.

За последние годы некоторые отрасли электротехники (светотехника, электротермия, электросварка, электротехнические материалы и др.) представлены на страницах журнала весьма слабо. В то же время отдельные статьи, помещенные в журнале, подчас не представляют широкого интереса и их можно было рекомендовать для помещения в более узкие специализированные издания.

Весьма желательно печатание в журнале подробных информации о работах лауреатов Сталинских премий.

Редакции решительно необходимо избегать печатания статей большого размера, так как журнал не предназначен заменять труды институтов, ведомственные издания и т. п. В качестве примера больших статей, представляющих интерес только для ограниченного круга специалистов, можно указать из статьи В. Е. Скобелева «Основы теории схем выбега» (№ 1, 1951), В. В. Фетисова «Экспериментальное исследование коммутационной реакции якоря в машинах постоянного тока» (№ 5, 1951), С. З. Барского «Асинхронно-машинный каскад с нонным преобразователем» (№ 6, 1951) и др. Указанные статьи бесспорно можно было значительно сократить.

Редакции необходимо настойчиво продолжать работу по очищению русского технического языка от засорения неправильными, подчас нелепыми, терминами. Таблицу терминов, напечатанную на стр. 157 календаря-справочника журнала *«Электричество»* на 1952 г., необходимо значительно расширить. Кроме того, редакция журнала *«Электричество»* должна была бы провести совещание с редакциями других технических журналов (печатающих статьи по электротехнике) с целью установления всеми журналами единого подхода к терминологии в области электротехники.

Доктор техн. наук, проф. Н. С. СИУНОВ
Уральский политехнический институт

СОСРЕДОТОЧИТЬ ВНИМАНИЕ ЧИТАТЕЛЕЙ НА ВАЖНЕЙШИХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ

Основным недостатком журнала следует считать в известной мере случайный подбор статей. Иногда создается впечатление, что отдельные статьи появились только потому, что их авторы, не знакомые, повидимому, с важнейшими техническими задачами современности, случайно встретились с той или иной технической задачей и, как им кажется, по-новому ее решили. В качестве примера можно привести вопрос об аналитическом выражении кривой намагничивания железа. Этот вопрос обсуждается на страницах техни-

ческой печати в течение нескольких десятков лет и не является важным для современной электротехники. Этот вопрос должен освещаться скорее на страницах технических справочников, чем на страницах журнала. В связи с этим характерно замечание проф. А. М. Залесского, опубликованное в № 2 журнала за 1952 г.; он напоминает читателям, что еще в 1932 г. им предлагалось более удачное аналитическое выражение кривой намагничивания, чем то, которое было предложено в журнале в настоящее время.

В журнале, по моему мнению, периодически, хотя бы один или два раза в год, должна быть помещена серия обзорных статей, характеризующих состояние всех основных отраслей советской электротехники и проблем, над которыми ведется работа. Далее, в течение всего года на страницах журнала должны освещаться вопросы, связанные с основной тематикой, над которой работают деятели советской электротехники. В статьях этого типа достаточно давать отдельные, даже частные, решения технических вопросов, но именно тех, которые являются для настоящего дня актуальными и необходимыми.

Приведу пример из наиболее близкой мне области турбогенераторостроения. В настоящее время для турбогенераторостроения важнейшим является повышение мощности в одной единице при сохранении высокой надежности. Это стремление ограничивается условиями охлаждения обмотки ротора. Охлаждение ротора — ключ к решению всех остальных вопросов. Естественно поэтому, что на страницах ведущего журнала должны появиться теоретические и экспериментальные работы, связанные с проблемой охлаждения.

Очевидно, в каждой отрасли электротехники имеются такие, нерешенные еще научно-технические задачи, которые определяют в настоящее время уровень данной отрасли.

Редакция должна концентрировать внимание на важнейших научно-технических задачах народного хозяйства данного значения.

Бесспорно и случайные статьи, поступающие в редакцию самотеком, очень часто представляют весьма значительный теоретический и практический интерес; они могут быть приняты для напечатания как сразу, так и позднее. Но нужно добиться, чтобы такие случайные статьи не составляли подавляющей части журнала.

Разделы дискуссии и хроники в журнале находятся на достаточно высоком уровне. Желательно, чтобы дискуссии появлялись одновременно со статьями. Для этого важнейшие статьи, особенно из того раздела, который посвящен наиболее актуальным проблемам современной электротехники, следует направлять нескольким крупнейшим специалистам, работающим именно в данной области, с просьбой представить свои замечания для опубликования вместе с рецензируемой статьями. Появление же дискуссионных статей спустя много месяцев после напечатания основной статьи, как это часто имеет место в журнале, значительно снижает эффективность обсуждения технических проблем. Организующая роль редакции здесь должна быть весьма высокой. Нельзя ждать, пока тот или иной специалист сам решит высказаться по затронутому в журнале вопросу. Редакция должна руководствоваться указанием товарища Сталина о важности широкого свободного обмена мнениями по научно-техническим проблемам.

*Кандидат техн. наук Е. Г. КОМАР
Завод „Электросила“*

СОКРАТИТЬ СРОКИ ПРОХОЖДЕНИЯ СТАТЕЙ

В течение последних 2—3 лет журнал «Электричество» заметно расширил свою тематику. В журнале освещаются наряду с физическими и общетеоретическими вопросами электричества и электротехники также вопросы аппарато-строения, электрических систем и передачи электроэнергии на дальние расстояния, электрификации сельского хозяйства, техники высоких напряжений, автоматики и т. д. Надлежит отметить систематическое освещение в журнале новых научно-технических проблем, связанных со строительством Куйбышевской гЭС, Сталинградской гЭС и другими крупнейшими энергетическими стройками Советского Союза. Большое внимание уделяется журналом вопросу истории русской электротехники.

Журнал в общем хорошо связан с жизнью крупных вузов страны и с деятельностью различных научно-техни-

ческих обществ и конференций. Слабая связь, к сожалению, до сих пор имеется у редакции с Энергетическим институтом Академии наук СССР как по вопросам предварительного рецензирования статей, так и в смысле привлечения сотрудников ЭНИИ в качестве авторов.

Большинство работ написано доступно для широких кругов читателей.

Наряду с этим можно сделать следующие замечания. Некоторые статьи, помещенные в журнале в 1950—1951 гг., не находятся на достаточно высоком уровне и хотя в заключениях рецензентов указывалось на целесообразность публикации таких работ они все же были редакцией опубликованы.

Недостатком является все еще длительный срок прохождения статей до их публикации. Сроки рассмотрения, оформления и подготовки статей к печати должны быть сокращены.

*Доктор техн. наук И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ
Энергетический институт им. Кржижановского
АН СССР*

ОТБОР СТАТЕЙ СДЕЛАТЬ БОЛЕЕ СТРОГИМ

Со студенческой скамьи я привык относиться с большим уважением к журналу «Электричество». И в силу этого я невольно испытываю неприятное чувство, когда на страницах журнала иногда появляются статьи, недостойные высокого авторитета журнала. Я полагаю, что самый факт опубликования какой-либо статьи в журнале «Электричество» — большая честь и признание для автора. Поэтому такой чести должны удостаиваться лишь работы, действительно этого заслуживающие. «Электричество» — старейший и авторитетнейший в нашей стране журнал. Его читатели вправе ожидать, что работы, опубликованные в журнале, действительно являются «шагом вперед», представляя собой нечто принципиально новое, достаточно важное, имеющее широкий интерес.

В большинстве случаев так и бывает. Однако, если просмотреть комплекты журнала за последние два-три года, то можно заметить (ограничусь моей специальностью, т. е. разделом измерений), что наряду с работами, вызывающими, несомненно, широкий интерес (например, статьи М. А. Шателена в № 9, 1950 г., И. Н. Кроткова в № 10, 1951 г., В. Н. Мильштейна в № 5, 1950 г.), или работами, имеющими, быть может, более узкий интерес, но, однако, весьма поучительными (С. П. Иноземцева в № 10, 1950 г., Л. Ф. Куликовского и А. М. Мелик-Шахназарова в № 8, 1950 г., Е. К. Михайловой в № 8, 1951 г., Ю. М. Элькина в № 1, 1951 г. и др.), на страницы журнала «Электричество» проскальзывают статьи незаслуженно. Я имею в виду работы, не представляющие собой принципиальной новизны или касающиеся очень узких и частных вопросов или, наконец, в лучшем случае являющиеся описанием незначительных технических улучшений уже известных методов. К таковым, как мне кажется, следует отнести статьи Э. Г. Удермана в № 6, 1950 г. М. С. Миренского № 9, 1950 г. и в первую очередь — серию статей А. И. Фюрстенберга в № 8, 1950 г., № 3, 8 и 12, 1951 г. Если их и стоило публиковать (что весьма сомнительно), то уже во всяком случае не на страницах столь авторитетного журнала, как «Электричество».

Борьба за высокое качество печатаемых статей путем более жесткого и принципиального отбора и более строгого предварительного рецензирования статей должна быть усилена.

Хотя польза обзорных статей, посвященных современному состоянию и успехам отдельных отраслей электротехники, неоднократно признавалась редакцией, все же таких статей еще очень мало. Больше того, если в 1950 г. было опубликовано четыре весьма интересных работы обзорного характера, то в 1951 г. — уже только две. Мне представляется весьма целесообразным систематическое помещение, быть может, даже в каждом номере или через один, квалифицированных обзорных работ, рассматриваемых в первую очередь на читателей — не специалистов в данной частной области. Очень полезно публиковать обзоры защищенных диссертаций, содержание которых,

к сожалению, в большинстве случаев остается совершенно неизвестным широкому кругу специалистов. Несколько лет назад в журнале публиковались списки диссертаций с краткими аннотациями, теперь же и этого нет.

Совершенно назрела необходимость выпуска отдельных тематических сборников статей в виде приложения к журналу «Электричество». Такая форма имеет практические и технические преимущества.

В заключение отмечу в качестве большого достижения журнала все большее и большее развертывание в нем дискуссий по различным актуальным вопросам. Можно пожелать в дальнейшем еще большего расширения и углубления этих дискуссий, в чем, несомненно, большую роль должна сыграть активность самих читателей.

Профессор К. Б. КАРАНДЕЕВ

Львовский политехнический институт

на это обстоятельство контролировать повседневно. Конечно, редакция журнала, считаясь с общепризнанным положительным мнением читателей о научной ценности журнала «Электричество», может предъявить некоторой части читателей и встречные пожелания. Как указывалось выше, без хорошего знания вузовского курса теоретических основ электротехники чтение журнала «Электричество» затруднительно. Дополнительно к этому требуется от читателя и углубленное знание теории той или иной интересующей его специальной отрасли. Полезное служение журнала «Электричество» практической деятельности советских электротехников и расширению их теоретического кругозора требует от читателей журнала определенных встречных усилий, направленных на известную подготовку себя к разбору и усвоению материалов высшего электротехнического журнала, каким является журнал «Электричество».

Доцент С. Н. ШИПКОВ

Куйбышевский индустриальный институт

ВСТРЕЧНЫЕ ПОЖЕЛАНИЯ ЧИТАТЕЛЯМ

Наряду с вопросами современной техники в тематику статей обзорного характера следует включать и научно-идеологические вопросы. Желательно, например, поместить в журнале обзорные статьи, написанные нашими крупными физиками и философами, обстоятельно освещающие с позиций диалектического материализма современные физические и философские воззрения на природу электромагнитного поля.

Труды И. В. Сталина по языкознанию имеют важное значение для всех научных и научно-технических областей. Вопросы технической терминологии, в частности терминологии электротехнической, должны решаться в свете Сталинских работ по языкознанию. В связи с этим весьма желательно опубликование на страницах журнала обстоятельной статьи с основными установками для правильной разработки электротехнической терминологии.

В отделе «Библиография» вместо одиночных рецензий на учебники, как практикуется это теперь, следует печатать сразу подборку рецензий на каждую книгу. Это позволит повысить борьбу за качество учебников и учебных пособий. В этом важном деле рецензирования учебников совершенно необходимо широкое участие соответствующих кафедр вузов и заинтересованных коллективов производственных организаций. Участие расширенного круга рецензентов обеспечивает более полное и всестороннее раскрытие достоинств и недостатков книги. Это подтверждается, например, опытом обсуждения книги Л. М. Пиотровского и Е. А. Паля «Испытание электрических машин» («Электричество», № 6, 1951 и № 5, 1952), а также книги К. Г. Марквардта «Электроснабжение электрифицированных железных дорог» («Электричество», № 7, 1950 и № 10, 1951).

Улучшения учебников можно было бы добиться также путем введения сопоставительного рассмотрения нескольких учебников по одной и той же дисциплине, но разных авторов. К сожалению, такой сравнительный метод оценки учебников в журнале почти не практикуется.

Четыре читательские конференции журнала и анкеты читателей, повидимому, выявили основные принципы, которыми должна руководствоваться редколлегия журнала «Электричество», для того чтобы, с одной стороны, сохранить за журналом традиционную научную авторитетность и практическую направленность, а с другой стороны, сделать журнал более доступным по характеру изложения материалов. Однако понятие «доступность» следует сразу же уточнить. Нельзя быть читателем журнала «Электричество» без хорошего знания вузовского курса теоретических основ электротехники. С другой стороны, недопустимо, если автор, излагая статью, предполагает, что любой читатель столь же хорошо знаком с каким-либо специальным вопросом, как и сам автор. А так как страницы журнала «Электричество» предназначены не для ограниченного круга узких специалистов, а для всей широкой массы квалифицированных советских электротехников, то автор обязан излагать самые сложные вопросы достаточно разборчиво, а редакция долж-

ПОДНЯТЬ КАЧЕСТВО НАУЧНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ

Более семидесяти лет журнал «Электричество» объединяет наиболее прогрессивных электротехников нашей страны и выражает руководящие идеи в этой области. Особенно возросла роль журнала «Электричество» после Великой Октябрьской социалистической революции, в период созидательного труда по осуществлению величественных планов Ленина — Сталина по электрификации нашей страны и построению материально-технической базы коммунистического общества. Журнал «Электричество», чутко прислушиваясь к мнению советской инженерно-технической общественности, заслуженно завоевывает все больший и больший авторитет.

Не останавливаясь на достижениях журнала, отмечу недостатки, устранение которых могло бы способствовать дальнейшему улучшению деятельности журнала.

Редакция журнала не всегда ведет достаточную предварительную работу с авторским и корреспондентским коллективом, что проявляется например, в организации дискуссий. Организационная подготовка дискуссий, повидимому, часто выполняется неудовлетворительно и круг участников дискуссий вследствие этого, как правило, ограниченный, а сроки обсуждения растягиваются на год, а то и на несколько лет.

Работа по подготовке к печати обзорных статей по основным ведущим отраслям электротехнической науки поставлена еще слабо, вследствие чего в этих статьях не всегда содержатся четкие и ясные сведения о достижениях в данной отрасли техники и об основных проблемах, подлежащих разрешению.

Редакции при отборе статей и при их редактировании следует твердо проводить выдержанную руководящую линию в отношении современной трактовки основных электротехнических методов, терминологии, обозначений и т. п. Приведем пример: в современной электротехнике общепризнана ненаучность Хевисайдовской трактовки операторного метода и необходимость применения современной трактовки, основанной на преобразовании Карсона-Лапласа-Бромвича. Однако отдельными авторами при попустительстве редакционного аппарата протаскиваются антинаучные и устаревшие хевисайдовские представления, что вызывает большую неудовлетворенность у одних читателей и даже вообще недоверие к операторному методу у других.

Редакция не всегда требовательно относится к изложению статей. Многие авторы в погоне за изложением в рамках одной статьи большого количества материала прибегают к столь сжатому изложению, что ряд помещенных в статью выкладок представляет собой головоломки даже для лиц, обладающих известной подготовкой. В то же время при тщательном редактировании всегда достаточно ввести два, три слова, поясняющих идею сокращенной или опущенной части выкладки, как все становится ясным. Иногда же лучше пожертвовать менее существенной частью

материала, чтобы лучше изложить остальное. Этот недостаток может быть объяснен не только небрежностью авторов, но и недостаточным редактированием.

Редакция должна более ярко проявлять свое лицо в борьбе с устаревшими теоретическими положениями и представлениями. Качество научного редактирования должно быть поднято. Это позволит без снижения научного уровня статей сделать их более удобочитаемыми, а необходимые математические выкладки будут при соблюдении этого условия изложены, хотя и сжато, но четко и ясно.

Кандидат техн. наук А. А. ЯНКО-ТРИНИЦКИЙ
Уральский политехнический институт

ПЕРЕСМОТРЕТЬ ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ ЖУРНАЛА

С целью равномерного освещения в журналах, издающихся в СССР, весьма многочисленных областей электротехники, целесообразно по тематическим разделам, по которым имеются специальные периодические издания (например, «Электрические станции», «Промышленная энергетика» и т. д.), материалов в журнале «Электричество» не печатать, а органичиться помещением один раз в квартал обзорной статьи по материалам, помещенным в отраслевых журналах.

По тем же тематическим разделам, по которым не имеется специальных периодических изданий (например: «Кабельная техника», «Светотехника», «Источники света» и т. д.), следует число статей в журнале «Электричество» резко увеличить, привлекая для этого работников соответствующих заводов и научно-исследовательских институтов.

Значительно следует расширить раздел библиографии, помещая в нем через определенные интервалы времени обзорные статьи литературы отечественной и переводной, изданной по отдельным вопросам литературы.

Проводимые журналом дискуссии по отдельным статьям являются ценной формой общения с читателем. Хотелось бы на страницах журнала находить дискуссии не только по темам технического характера, но и по таким вопросам, как о связи научно-исследовательских институтов с промышленностью (реально по нескольким институтам и группе заводов этой области), о подготовке специалистов в вузах и использовании материалов дипломных проектов, о путях подготовки специалистов для промышленности, о мероприятиях по поднятию квалификации инженерных и научных работников.

Профессор Р. А. НИЛЕНДЕР
Главный инженер завода Министерства
промышленности средств связи СССР

ФИЗИЧЕСКУЮ СТОРОНУ ВОПРОСА ИЗЛАГАТЬ ДОСТУПНЕЕ

Содержание журнала за последние 3 года значительно улучшилось. Помещаемые в нем статьи интересуют широкие круги читателей, так как освещают современное состояние главнейших отраслей электротехники. Содержание статей приближается к такому виду, при котором они доступны уже не только узкому кругу специалистов. Однако в этом отношении отдельные статьи все же грешат. Следует в возможно более доступной форме излагать физическую сторону вопроса и основные выводы, а весь математический текст (выкладки и пр.) относить в приложения, печатаемые мелким шрифтом.

Редакции следовало бы перед опубликованием размножить статью и разослать ее 8—10 специалистам по данному вопросу, с тем чтобы их заключения и критические замечания помещать в очень сжатой форме в том же номере, в котором публикуется статья. Это значительно помогло бы авторам статей улучшить свою работу, а читателям позво-

лило бы лучше разобраться в достоинствах и недостатках, положений и методов, предлагаемых в статьях.

Недостаточно места уделяется в журнале обзорам (рефератам) печати, отечественной и зарубежной. Обзоры (рефераты) должны быть более краткими, но количество их должно быть увеличено в 4—5 раз. Назначение обзора (реферата)—обратить внимание читателя на те или иные статьи, а от читателя зависит: обратиться ли ему к оригиналу для более подробного ознакомления.

Заставляет желать много лучшего качество особенно фотографий, помещаемых в журнале; часто очень трудно бывает разобрать, что изображено на фотографии.

Доктор техн. наук Ю. Г. ТОЛСТОВ
Энергетический институт им. Кржижановского
АН СССР

ЗАВЕРШАТЬ ДИСКУССИИ

Журнал «Электричество» дает возможность читателям следить за общим состоянием и развитием вопросов теоретической и практической электротехники, быть в курсе основных событий в области советской и зарубежной электротехники в целом.

Большее место в журнале следует уделять вопросам, связанным с расчетом, проектированием, испытанием и изготовлением оборудования высокого напряжения.

Проводимые журналом по актуальным вопросам дискуссии следует обязательно завершать определенными выводами, чтобы поднятые в дискуссии вопросы получали в результате какое-то решение, иначе польза дискуссий заметно снижается. В качестве примеров можно указать на следующее. До сих пор не внесено ясности в вопрос о выборе номинальных напряжений (10—35 кВ; 35—110 кВ; выше 220 кВ), хотя обсуждение в журнале статей на эти темы проводилось неоднократно.

Вопрос об испытательных и разрядных напряжениях аппаратуры высокого напряжения, поднимавшийся не один раз в журнале еще с 1938—1939 гг., до сих пор окончательно не решен и более того — этот вопрос по сути был недостаточно полно освещен, между тем как влияние норм на уровни изоляции на размеры аппаратов весьма велико.

По вопросу, рассмотренному в журнале, о классификации и терминологии электрических аппаратов высокого напряжения так и не было сделано заключительных выводов.

По вопросу о переходе на новую систему электрических единиц не дано окончательного решения и подытоживающих статей с тем, чтобы у читателей остались совершенно определенные сведения по внедрению новой системы единиц и новых видов формул в практику.

Инж. Г. Б. ХОЛЯВСКИЙ
Завод «Электроаппарат»

ИЗМЕНИТЬ КОМПОНОВКУ СТАТЕЙ

Несмотря на постоянную заботу редколлегии журнала «Электричество» об удовлетворении запросов читателей, предъявленных ими на конференциях, задача облегчения пользования журналом остается еще не полностью разрешенной. Считаю уместным привлечь внимание к весьма существенному несоответствию между одним из редакционных правил для авторов и фактической практикой журнала.

Хотя по опубликованным в журнале правилам для авторов объем представляемых рукописей ограничивается примерно половиной печатного листа, практически в каждом номере можно встретить не одну, а несколько статей, превышающих указанный объем. При этом нельзя не отметить, что объем статей вовсе не связан с их характером и значением, тогда как следовало бы, строго различать два вида материалов.

К первому виду, действительно заслуживающему большого объема, следует отнести статьи ведущего характера,

рассматривающие принципиальные вопросы данной отрасли электротехники или электрохозяйства, а также программного либо обзорного характера и т. п.

Ко второму виду можно отнести материалы исследований частных вопросов в любой отрасли, дающие углубление или уточнение деталей, либо даже новые решения отдельных задач. Такие статьи должны иметь характер небольших авторефератов, преследующих в основном информационные цели.

В связи с изложенным можно полагать, что наиболее удовлетворительной для читателей будет компоновка каждого номера журнала из двух-трех «ведущих статей» и широко развитых отделов «из опыта работы», с возможной дифференциацией последних. Существующие отделы дискуссий, рефератов, хроники и т. д. должны быть, конечно, сохранены и дополнены.

Итак, размеры большей части статей должны быть резко сокращены.

К сказанному можно добавить, что из двух сгруппированных ниже типов зарубежных электротехнических журналов изложенной точке зрения на компоновку материалов удовлетворяют «ETZ, R.G.d'El., El. Eng.» и не удовлетворяют «Arch. f. El., Transactions, Proceedings...».

Кандидат техн. наук И. С. БЕССМЕРТНЫЙ
Москва

ПОВЫСИТЬ КАЧЕСТВО ИЗЛОЖЕНИЯ СТАТЕЙ

Деятельность редколлегии журнала «Электричество» и всего редакционного аппарата журнала заслуживает одобрения. Журнал достиг значительных успехов во всех отношениях: видна забота о высоком научном и идейном уровне подавляющего большинства помещаемых в журнале материалов, о соответствии статей запросам советской действительности, о популяризации новейших достижений советской научно-технической мысли, об информационной помощи работникам производства и науки, о проведении широких дискуссий.

Имеющие еще место некоторые недостатки относятся обычно к вопросам формы. Встречаются статьи, написанные нечетко, неясно, с неудовлетворительным освещением существенных моментов темы. Наряду с этим в таких статьях заметна излишняя расплывчатость второстепенных элементов изложения темы. Рисунки и чертежи иногда грешат против эстетики.

О требованиях к качеству изложения научно-технических работ и статей полезно посвятить одну-две статьи в журнале, так как многие новые авторы не имеют соответствующих навыков, другие же пренебрегают формой изложения, недооценивая важности этого фактора.

Доктор техн. наук, проф. Н. Н. ШЕДРИН
Среднеазиатский политехнический институт

СИСТЕМАТИЧЕСКИ ПЕЧАТАТЬ ПЕРЕДОВИЦЫ ПО НАИБОЛЕЕ АКТУАЛЬНЫМ ВОПРОСАМ

Журнал «Электричество» обладает солидной материальной базой: он выпускает 144 печатных листа в год. Этот объем достаточен для решения задач, поставленных перед журналом. О технической политике коммунистической партии и Советского правительства во всех областях электротехники журнал должен сообщать систематически в передовых статьях.

К сожалению, статей, носящих руководящий характер для электротехников Советского Союза, в журнале немного. Передовицы печатаются непериодически и в их тематике нет достаточной плановости. Приведем примеры.

В 1949 г. в журнале напечатана (в № 8) прекрасная статья акад. С. И. Вавилова о связи науки с производством. В этой статье президент Академии наук поставил ряд исключительно важных проблем, решение которых должно помочь более тесной взаимной связи между учеными и производственниками.

В дальнейшем теме о развитии науки журнал посвятил в 1950 г. всего одну статью (в № 7), перепечатанную из журнала «Большевик», и в 1951 г. также одну статью в № 11, т. е. почти в конце года. Статья эта является отзву-

ком той критики, которой подвергалась в нашей центральной прессе деятельность Отделения технических наук Академии наук СССР.

Рассмотрим другой пример. Наши руководящие органы уделяют очень большое внимание проблемам электрификации сельского хозяйства. «Электричество» — руководящий орган Академии наук СССР и двух министерств, значение которых в деле электрификации очевидно, должен был бы уделить этому весьма важному вопросу большое внимание. Однако комплект номеров журнала за три года показывает, что этой теме журнал посвятил только одну статью руководящего и направляющего характера, причем она появилась еще в 1949 г. (в № 11), после чего журнал не вернулся к поставленным в этой статье проблемам.

Такое же примерно положение имеет место и в области электротермии. Единственная статья по научно-техническим проблемам промышленной электротермии появилась в № 3 журнала в 1948 г. и с тех пор журнал не касался вопроса о том, как решаются на деле эти проблемы.

В журнале «Электричество» систематически, в каждом номере должны быть передовые статьи по наиболее актуальным проблемам как текущего, так и перспективного характера.

Тематика журнала достаточно разнообразна, и в этом отношении он выполняет свое назначение. Однако слабостью тематики журнала является недостаточная ее плановость и целеустремленность: повидимому, тематика статей по отдельным специальностям регулируется слабо. Приведем примеры.

Электрификации сельского хозяйства в 1949 г. было посвящено пять статей. Почти весь комплекс этих статей касается весьма актуальных вопросов электрификации сельского хозяйства, и он наверно заинтересовал широкий круг инженеров и научных работников.

В 1950 г. в журнале вновь были помещены пять статей по электрификации сельского хозяйства, но тематика их оказалась значительно суженной.

Хуже получилось в 1951 г., когда за весь год в журнале не было помещено ни одной оригинальной статьи, посвященной этому важному разделу народного хозяйства. Такие актуальные темы, как орошение, электропахота и электротрактор, проблема сплошной электрификации сельского хозяйства, совершенно выпали из поля зрения журнала.

Рассмотрим другой пример. Электротермии и электросварке в 1948 г. было посвящено тринадцать статей, в 1949 г. — две, в 1950 г. — пять, а в 1951 г. — всего три статьи. Как видим, из года в год резко менялось внимание журнала к этим важным вопросам. Еще более неравномерно распределение материалов по различным разделам рассматриваемой отрасли электротехники. Подавляющее большинство упомянутых статей относится к высокочастотному нагреву. Значительно меньше места уделено дуговым печам, а электросварка была почти оставлена в тени: за четыре года журнал уделил последнему вопросу всего две-три статьи, что, конечно, совершенно недостаточно. Правда, вопросы сварки освещаются в специальном журнале («Автотенное дело»), но контингент читателей «Электричества» значительно шире и проблемы электросварки нельзя оставлять вне поля зрения читателей «Электричества».

Надо внести большую плановость в подбор печатаемых материалов и лучше организовать авторский коллектив для решения задач, поставленных перед журналом. По ряду вопросов редакция должна заказывать статьи отдельным лицам и коллективам.

Последний вопрос, на который я хотел бы обратить внимание редакции, — это освещение биографий выдающихся советских электротехников. Эта тема фигурирует в журнале или в виде юбилейных и памятных дат, или в виде некрологов. Если можно так выразиться, всех наших электриков мы видим либо стариками («юбилейные даты»), либо после их кончины. А как выглядел и работал тот или другой ученый или крупный строитель в период расцвета своих сил, мы не знаем. Энергетики Армении и Грузии, построили ряд уникальных станций, а о строителях этих станций в журнале «Электричество» нет никаких сведений. Не знаем мы и творческой биографии лиц, которым оказана высокая честь проектирования и строительства великих строек коммунизма.

Приведем другой пример. В 1949 г. вышла книга М. П. Костенко «Электрические машины». Журнал дал весьма высокую оценку этой книге («Электричество», № 4, 1950). Действительно, выход этой книги явился большим событием в разработке теории электрических машин, а между тем ни процесс работы автора над книгой, ни его общая творческая биография не нашли освещения на страницах журнала. Только благодаря тому, что в 1949 г. Михаилу Полиевктовичу Костенко исполнилось 60 лет (юбилейная дата), из первого номера журнала за 1950 г. читатели узнали краткие сведения из его биографии.

Изучение творческого пути наших ведущих электриков имеет не только познавательное, но и воспитательное значение. Не надо забывать и другого обстоятельства. Известно, ведь, с какими трудностями встречаемся мы сегодня при сборе материалов о наших ученых прошлого века. Не будут ли наши будущие исследователи в таком же положении? Что может, например, найти такой исследователь в журнале «Электричество» относительно покойного выдающегося деятеля электротехники П. С. Жданова? — Ничего, кроме одного короткого некролога!

Мне кажется, что журналу надо бережливо собирать и публиковать материалы об электриках Сталинской эпохи.

В заключение несколько слов о наших диссертациях. Одно время в журнале печатались списки защищенных диссертаций и их краткие аннотации. Надо возобновить печатание списка диссертаций и более расширенных аннотаций.

В целом хочу подчеркнуть, что журнал «Электричество», сохраняя традиции своих основоположников, выполняет огромное полезное дело. Редакции журнала надо стремиться к максимальному дальнейшему улучшению качества журнала.

Доктор техн. наук, проф. Г. А. СИСОЯН
Грузинский политехнический институт

ПРИБЛИЗИТЬ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА К ЖУРНАЛУ

Журнал «Электричество», по моему мнению, достаточно хорошо освещает на своих страницах все вопросы, теоретические и практические, современной электротехники. Основной задачей журнала следует считать: повышение теоретического уровня инженеров и техников, работающих в области электроэнергетики и электропромышленности, и информацию о новых достижениях промышленности и науки; сюда относится и обмен опытом работы и научных исследований.

Журнал полезен не только инженеру — он помогает и студентам — электрикам и энергетикам, знакомя их с современным состоянием той или иной отрасли промышленности; статьи научного характера могут служить студентам старших курсов пособием при изучении специальных дисциплин во втузах, он знакомит их с состоянием отечественной и зарубежной энергетики в статьях обзорного характера.

Журнал систематически проводит широкое обсуждение основных вопросов электротехники и энергетики. Несомненно, что дискуссии приносят читателям пользу, так как они позволяют установить правильную точку зрения на предмет обсуждения и способствуют быстрому и верному решению серьезных проблем. Приходится сожалеть только о том, что инженеры промышленности принимают совершенно недостаточное участие в дискуссиях и не руководствуются материалами последних в своей работе, в ряде случаев дискуссии могли бы содействовать лучшему и скорейшему выполнению поставленных перед промышленностью задач.

По мере возможности было бы желательным знакомить читателей журнала с проблемами и задачами, которые решены в соответствующих лабораториях и исследовательских институтах страны.

Вообще хотелось бы, чтобы инженерно-технические работники электропромышленности и энергетического хозяйства приняли большее участие в журнале в качестве авторов статей, в дискуссионных выступлениях, в обмене опытом, в регулярной технической информации и т. д.

Доктор техн. наук, проф. С. М. БРАГИН
Московский энергетический институт им. Молотова

ОСВЕЩАТЬ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

В аннотации на журнал «Электричество» можно прочитать: «Журнал рассчитан на широкие круги инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники». В действительности же журнал под силу лишь узкому кругу научных работников и инженеров, стоящих «на грани» научной работы.

Редакция должна более смело сокращать различные письма или дискуссионные статьи, если они содержат предложения, не имеющие ценности. Занятый читатель вправе требовать этого от редакции журнала.

Расположение статей в номере журнала никак не позволяет понять принцип, положенный в основу этого расположения. Нам представляется, что в журнале должны быть намечены разделы и в каждом номере каждый раздел должен содержать хотя бы по одной статье. Концентрация статей определенного содержания по отдельным номерам приводит к тому, что из всего годового комплекта читателей ценятся потом всего два-три номера.

Ненормально такое положение, когда вопросы, связанные с обучением специалистов-электриков (инженеров и в особенности техников), не освещаются в журнале. По линии техникумов до сих пор ставится вопрос: «Каким же должен быть техник, требуется ли учить его высшей математике, в какой мере ему нужны производственные навыки, что должны содержать программы по отдельным дисциплинам и т. д. Учитывая, что министерства электростанций и электропромышленности имеют свои ведомственные техникумы, непонятно игнорирование этих вопросов журналом. Вопросы подготовки кадров должны освещаться в журнале «Электричество» регулярно.

Инж. В. И. КОНСТАНТИНОВ
Всесоюзный заочный политехнический институт

УВЕЛИЧИТЬ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЕЛИКИМ СТРОЙКАМ

С большим удовлетворением можно отметить неуклонный рост старейшего электротехнического журнала «Электричество». За последние годы на страницах журнала печатался материал по самым разнообразным вопросам из различных областей электротехники; эти вопросы широко охватывали проблемы новой техники и получали освещение как со стороны теории, так и со стороны опыта и запросов наших проектирующих и монтажных организаций, а также наших электротехнических заводов.

Журналом в последнее время уделяется также большое внимание вопросам истории отечественной электротехники, причем в публикуемых статьях приводится новый интересный материал, свидетельствующий о приоритете в целом ряде вопросов русских и советских ученых и изобретателей. Мы должны также приветствовать установившуюся в журнале традицию помещать в каждом номере дискуссии, посвященные или обсуждению проектов правил и норм и новых стандартов, или обсуждению отдельных опубликованных в дискуссионном порядке статей. В журнале регулярно работает отдел библиографий, в котором помещаются рецензии на большинство новых книг и учебников по электротехнике.

В журнале имеется раздел «Из опыта работы». В отношении этого раздела следует указать на некоторую пе-

строту материала, включаемого в этот раздел. Ряд статей этого раздела никак не может быть отнесен к статьям, описывающим в своем содержании на эксплуатационный и производственный опыт, и эти статьи поэтому с таким же успехом могли бы быть включены в общий раздел статей журнала. В то же время в разделе «Из опыта работы» крайне недостаточно освещается огромный и действенный опыт эксплуатации наших советских электрических станций, сетей и систем. Кажется бесспорным, что большие принципиальные вопросы эксплуатации электротехнического оборудования и электрических станций и сетей в целом подлежат включению в тематику журнала «Электричество».

В журнале в 1951 и в 1952 г. было помещено несколько статей по великим стройкам коммунизма; этот материал должен быть признан недостаточным. Желательно помещать на эту тему большего числа статей, затрагивающих новые научные проблемы в области электротехники, а также и статей, освещающих общее народнохозяйственное значение этих грандиозных сооружений.

Нужно бороться с таким положением, когда отдельные статьи по весьма актуальным вопросам не получают последующего развития в журнале. В качестве примера можно указать на статью А. А. Ермакова в № 1 за 1950 г., посвященную принципам построения трансформаторных подстанций промпредприятий. Эта статья представляет бесспорно большой интерес; однако дальнейшие работы советских электротехников в этой области и, в частности, работа над созданием комплектных распределительных устройств, удостоенная Сталинской премии за 1951 г., не получила никакого отражения на страницах журнала.

Наблюдается также недостаточно строгая последовательность размещения в журнале статей с точки зрения их содержания, значимости и научно-технического уровня.

Профессор Б. А. ТЕЛЕШЕР

**Московский инженерно-экономический институт
им. Орджоникидзе**

УВЕЛИЧИТЬ ЧИСЛО ОБЗОРНЫХ СТАТЕЙ. ОЖИВИТЬ РАБОТУ ПО ТЕРМИНОЛОГИИ

Журнал «Электричество» приносит очень большую пользу в моей работе. Из журнала «Электричество» я узнаю о новых вопросах, поднимаемых и разрабатываемых нашей электротехнической наукой, о новых данных из истории отечественной электротехники и о выдающихся советских электротехниках, о критике (в отделе библиографии) выходящей в свет электротехнической литературы, о правильной постановке вопросов электротехники, которую можно найти при чтении помещаемых в журнале материалов дискуссий, и т. д.

За последние два года мне очень понравился целый ряд (около 40) статей, опубликованных в журнале.

Журнал «Электричество» многому меня научил, помог во многом разобраться.

Однако многие статьи, опубликованные в журнале, остались для меня непонятными, хотя я и окончил Ленинградский политехнический институт им. Калинина. Такие статьи обычно пресыщены математикой и являются сугубо теоретическими и очень тяжелыми вследствие сложной методики математического анализа, применяемой в них. Эти статьи я только просматриваю. Мне бы хотелось, чтобы в будущем статей, рассчитанных на весьма ограниченный круг читателей, опубликовывалось в журнале возможно меньше.

Во второй половине 1950 г. содержание журнала заметно улучшилось, но затем, начиная с 1951 г., теоретические статьи со сложным математическим аппаратом опять начали занимать в журнале преобладающее место. Поэтому,

хотя редакционная коллегия журнала и принимала в соответствии с решениями читательских конференций меры, направленные к улучшению содержания журнала, однако начатая работа не доведена ею до конца и претензии читателей к журналу, заявленные на конференции, оказались удовлетворенными только частично. Редакция обязана довести до конца борьбу за упрощение формы изложения материалов.

ВНИТОЭ должно уделять журналу и читателям журнала большее место в планах своей повседневной работы.

Говоря о требовании к авторам статей — составлять статьи в сжатом и доступном по форме изложении, мы не мыслим о снижении научно-технического уровня содержания журнала, мы говорим исключительно о форме изложения статей. Авторам журнала «Электричество» следует выработать искусство писать серьезные вещи для большинства читателей. В том-то и беда, что многие из авторов журнала перестали адресовать свои статьи к широкому кругу читателей. Редакция журнала обязана позаботиться о ликвидации этого недостатка в журнале.

В материалах дискуссий, в письмах, а также в ответах на письма часто можно найти много умных и полезных советов, замечаний, решений и рекомендаций. Надо увеличить число дискутируемых на страницах журнала статей, так как преимущество такой формы всестороннего разъяснения читателям выбранных для дискуссии проблем очевидно.

Большую помощь в привлечении к обсуждению научно-технических проблем широких кругов читателей журнала должны оказывать организации ВНИТОЭ.

С удовлетворением мы находим в журнале за последние годы большое число весьма ценных статей, посвященных вопросам истории науки об электричестве, описанию деятельности замечательных людей электротехники, которые внесли неоценимый вклад в мировую науку и технику. Существенным является то, что все эти статьи воспитывают в читателях чувство благородного патриотизма. Я повторяю свое предложение, однажды уже опубликованное в журнале, о систематическом помещении в журнале вклеек с цветными фоторепродукциями портретов великих русских электриков.

Недостаточно было опубликовано за последние 2—3 года обзорных статей, которые, как правило, представляют особый интерес для широкого круга читателей. Читатель, не являющийся специалистом в данной области, из обзорной статьи имеет возможность ознакомиться с содержанием того или иного важного вопроса. В будущем необходимо значительно увеличить число обзорных статей, публикуемых в журнале.

Большим пробелом в работе журнала следует считать отсутствие должной деятельности по упорядочению советской электротехнической терминологии. Несмотря на исключительную важность для советской электротехнической науки правильной электротехнической терминологии, за последние годы не было ни одной статьи, посвященной вопросам терминологии. Редакция «Электричество», соглашаясь с констатацией неудовлетворительного состояния вопроса об электротехнической терминологии, ничего не предприняла для создания решающего перелома в этой области. Комитет технической терминологии Академии наук СССР работает черепашими темпами и чрезвычайно затянул (более чем на 12 лет) работы по упорядочению электротехнической терминологии и условным графическим обозначениям для электрических схем.

Журнал «Электричество» обязан поставить проблему о советской электротехнической терминологии для обсуждения ее на страницах журнала.

За последние годы интерес инженерной общественности к журналу сильно возрос и продолжает расти. Об этом можно судить хотя бы по увеличивающемуся тиражу журнала.

**А. А. ЮМАТОВ
г. Кронштадт**



На собрании, посвященном изобретению телеграфа

21 октября 1952 г. в конференц-зале Отделения технических наук Академии наук СССР состоялось собрание, посвященное 120-летию юбилею первой публичной демонстрации электромагнитного телеграфа, изобретенного выдающимся русским электротехником первой половины XIX в. Павлом Львовичем Шиллингом (16.4.1786—6.8.1837).

В собрании приняли участие представители и научные работники Отделения технических наук Академии наук СССР, Министерства связи СССР, Министерства промышленности средств связи СССР, Московского энергетического института им. Молотова, Московского электротехнического института связи, Лаборатории по разработке научных проблем проводной связи Академии наук СССР, Всесоюзного научно-технического общества радиотехники и электросвязи им. Попова и многих других организаций Москвы, Ленинграда и других городов Советского Союза.

В президиуме собрания — старейший электротехник нашей страны член-корр. Академии наук СССР, проф. М. А. Шателен, доктор техн. наук Н. М. Изюмов, государственный директор связи III ранга, инж. А. Н. Перегудов, доктор техн. наук, проф. Е. В. Китаев, доктор техн. наук, проф. П. А. Акулышин, доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд и др.

Открывая совещание, проф. М. А. Шателен произнес вступительное слово, в котором подчеркнул величайшее значение, которое имело для культурной и промышленной жизни всего мира изобретение действующей установки электромагнитного телеграфа русским ученым П. Л. Шиллингом. При этом интересно отметить и то, что главнейшие изобретения, которые позволили практически создать первую действующую установку проводного телеграфа, были сделаны также русскими изобретателями: П. Л. Шиллингу и Б. С. Якоби принадлежит заслуга в открытии возможности применения для передачи электрических сигналов надземных, подземных и подводных проводов и использования земли и воды в качестве проводника электрического тока.

Приоритет П. Л. Шиллинга не один раз оспаривался: еще в 1881 г., на торжественном собрании Русского технического общества, посвященном 100-летию со дня рождения П. Л. Шиллинга, было со всей категоричностью и убедительностью установлено, что именно П. Л. Шиллинг создал в 1832 г. первую действующую установку электромагнитного телеграфа, послужившую прообразом всех позднее созданных телеграфных аппаратов и систем передачи. Ценнейшие документы, собранные участниками юбилейного собрания 1881 г., исчерпывающе подтвердили приоритет Шиллинга. Эти документы были изданы в свое время дважды. На собрании 1881 г. был продемонстрирован восстановленный И. Н. Деревянкиным подлинный аппарат П. Л. Шиллинга (этот аппарат ныне экспонируется в Московском политехническом музее).

Первый доклад о трудах Павла Львовича Шиллинга сделал член-корр. Академии наук СССР, проф. В. И. Коваленков. Он напомнил о том, что деятельность Шиллинга (родившегося в 1786 г. в Ревеле — Таллине в семье русского офицера) протекала в те мрачные годы, когда правящие круги дореволюционной России слепо преклонялись перед всем чужеземным, не верили в творческие силы своих соотечественников и не только не оказывали изобретателям и новаторам-ученым необходимой помощи, но подчас сознательно и не редко в корыстных целях тормозили осуществление русскими людьми их открытий и изобретений. Научно-изобретательская деятельность П. Л. Шиллинга легла в основу всего дальнейшего развития телеграфа. Приоритет Шиллинга могли оспаривать лишь невежды в области истории техники. Уместно отметить, что во французском курсе «Телеграфия», принадлежащем перу Тернана, роль Шиллинга охарактеризована совершенно определенно. Так, автор задает вопрос: «Кто первый заставил функционировать телеграф при помощи электричества?» И тут же отвечает:

«Эта честь принадлежит русскому офицеру Павлу Львовичу Шиллингу, который соорудил первый электромагнитный телеграф». Переходя затем к описанию телеграфа Кука-Уитсона, Тернан указывает, что тут имело место «...введение в Англии копии телеграфа Шиллинга». Аналогичное свидетельство о приоритете П. Л. Шиллинга содержится и в труде немецкого ученого Шеллена и во многих других иностранных изданиях прошлого века.

Электромагнитный телеграф — не единственное изобретение П. Л. Шиллинга. В 1811 г. он сконструировал первый изолированный провод, пригодный для прокладки в сырой земле и под водой. Он работал над осуществлением взрыва порохового заряда на расстоянии при помощи электрического запала, действовавшего по принципу открытой в 1802 г. В. В. Петровым электрической дуги. Опыт электрического взрывания порохового заряда был произведен им через Неву в 1812 г. В последующие годы, особенно после русско-турецкой войны 1828—1829 гг., выявившей несостоятельность старых минных средств, электрозапальная система Шиллинга получила успешное развитие. После описанного в 1820 г. Эрстедом отклоняющего действия электрического тока на магнитную стрелку Павел Львович Шиллинг стал упорно экспериментировать и спустя 10 лет создал первый в мире электромагнитный телеграф и в высшей степени рациональный код, который позволил уменьшить число проводов в линии с 40 до 8, а затем до 2.

Первая телеграфная линия была осуществлена Шиллингом в 1834 г. в здании Главного адмиралтейства между кабинетом начальника Морского ведомства и кабинетом директора Строительного департамента; эта линия была проложена под землей и частично под водой.

Интересно, что для изолирования проводов П. Л. Шиллинг впервые применил пеньку и шелк, пропитанные различными смолами.

П. Л. Шиллинг был первым в мире ученым, который научно исследовал законы прохождения телеграфного сигнала через линию. Он также первый внес предложение (1837 г.) осуществить подвеску голого провода на изоляторах к столбам. Об этом указывает в своих трудах академик Б. С. Якоби. По приглашению Физико-химического отделения Съезда естествоиспытателей и врачей, собравшегося в Бонне в 1835 г., П. Л. Шиллинг выступил (23 сентября) со специальным сообщением о своих работах в области телеграфии.

В конце мая 1837 г. Николай I дал, наконец, согласие на субсидирование строительства телеграфной линии между Петергофом и Кронштадтом. Но уже в июне 1837 г. у Шиллинга обнаружилась злокачественная опухоль. Операция, произведенная известным придворным хирургом Арэндтом, оказалась неудачной и спустя несколько недель, 6 августа 1837 г., П. Л. Шиллинг скончался в возрасте 51 года.

Труды Шиллинга не пропали даром. Русский академик Б. С. Якоби создал синхронно-действующий и буквопечатающий телеграфные аппараты. Работы Б. С. Якоби, З. Я. Слонимского, В. И. Струбинского, Г. И. Морозова, И. Н. Деревянкина и многих других отечественных ученых и изобретателей на протяжении всего последующего периода сохранили России ведущее место в области телеграфии.

Доклад, насыщенный историческими фактами, относящимися к деятельности П. Л. Шиллинга, и значительно дополняющий состоявшиеся выступления, сделал инж. А. Р. Яроцкий.

М. И. Радовский в своем подробном сообщении остановился на дружеских и тесных взаимоотношениях П. Л. Шиллинга и Б. С. Якоби, сложившихся в области их творчества, изобретательства и научной деятельности. Он привел следующую выдержку из статьи Б. С. Якоби, связанной с утратой Павла Львовича Шиллинга: «...Имя Шиллинга не может быть забыто в истории изобретаний, да оно и не будет забыто, ибо распространение электрического телеграфа послужит памятником его неутомимой деятельности».

Д. Р.



На Физическом факультете Московского государственного университета им. Ломоносова

14 октября 1952 г. в Большой физической аудитории им. Лебедева состоялось совместное заседание Отделения физико-математических наук Академии наук СССР, Физического института им. Лебедева Академии наук СССР, Московского общества испытателей природы и Физического факультета Московского государственного университета им. Ломоносова, посвященное сорокалетию со дня смерти знаменитого русского физика, профессора Московского университета Петра Николаевича Лебедева (8. 3. 1866—14. 3. 1912).

После краткого вступительного слова проф. А. А. Соколова, отметившего значение работ П. Н. Лебедева в мировой науке, с докладами выступили: проф. Н. А. Капцов, член-корр. Академии наук СССР Т. П. Кравец и член-корр. Академии наук СССР В. К. Аркадьев.

В докладе о жизни и деятельности П. Н. Лебедева Н. А. Капцов сообщил ряд биографических сведений о великом русском физике, проливающих свет на недостаточно еще исследованные в литературе вопросы.

Доклад, посвященный работе П. Н. Лебедева, экспериментально доказавшего в 1899 г. явление давления света, сделал Т. П. Кравец. Вопрос о приоритете П. Н. Лебедева, возникший в связи с выполнением аналогичной работы американскими учеными Никольсом и Хэллом, был рассмотрен в докладе строго научно. Т. П. Кравец дал яркую характеристику экспериментальных методик Лебедева и Никольса и, отметив оригинальность мысли обоих, сообщил о возможных погрешностях экспериментальной установки Никольса и, кроме того, о погрешностях при обработке полученных им результатов. В итоге тщательного крити-

ческого анализа Т. П. Кравец установил, что действительные погрешности измерений Никольса были значительно выше предполагавшихся Никольсом (1%), на что частично указывал еще П. Н. Лебедев; эти погрешности могли достигать значений порядка 25%, т. е. больших, чем у русского ученого. В заключение он указал на различие в оценке работ Лебедева и Никольса учеными других стран. Так, работа Петра Николаевича Лебедева по определению светового давления была напечатана в «Классиках науки» В. Оствальда еще во втором десятилетии текущего столетия, а работа Никольса и Хэлла в «Классиках науки» не напечатана. Далее, в 20-х годах эксперимент, выполненный П. Н. Лебедевым, со всей тщательностью был повторен в лаборатории Герлаха, работа же Никольса и Хэлла не была повторена и, более того, она вообще получила от этой лаборатории не особенно благоприятный отзыв. Таким образом, беспристрастный критический анализ экспериментальных результатов работ Лебедева и Никольса, во-первых, отношение к ним ученых других стран, во-вторых, не оставляют сомнения не только в приоритете П. Н. Лебедева, но наряду с этим показывают, что он обладал более высоким экспериментальным искусством и достиг качественно более высоких результатов.

В. К. Аркадьев сжато охарактеризовал созданную П. Н. Лебедевым школу талантливых учеников (В. Я. Альтберг, В. Д. Зернов, Н. А. Капцов, А. Р. Колли, Т. П. Кравец, П. П. Лазарев, А. Б. Млодзеевский, А. К. Тимирязев и др.) и остановился на самостоятельной научной деятельности последних.

Инж. Н. А. ШОСТЬИН



Библиография

КНИГИ ПО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ ТРОЛЛЕЙБУСОВ

И. С. ЕФРЕМОВ. ТРОЛЛЕЙБУСЫ. ЧАСТЬ II. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. 359 стр., ц. 9 руб. 45 коп. Издательство МКХ РСФСР; С. А. РЕБРОВ. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРОЛЛЕЙБУСОВ ТИПА МТБ. 108 стр., ц. 5 руб. 20 коп. Издание Киевского отделения ВНИТО ГЭТ, Госмаштехиздат; С. А. РЕБРОВ. УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ. 240 стр., цена 9 руб. 80 коп., Госмаштехиздат. В. Л. МАРКОВНИКОВ и Д. И. ПЕРКИС. УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВОДИТЕЛЕЙ ТРОЛЛЕЙБУСА. 252 стр., ц. 7 руб. 65 коп. Издательство МКХ РСФСР

Быстрый рост и совершенствование троллейбусного транспорта СССР вызвали потребность в высококвалифицированных кадрах по этой специальности и привели к изданию довольно обширной отечественной литературы по этому профилю.

Рассматриваемые нами книги по электрооборудованию троллейбусов призваны служить руководством и учебными пособиями для подготовки тысяч инженеров, техников и мастеров в данной области.

Первая из рецензируемых книг — И. С. Ефремова «Троллейбусы» — является второй частью учебника для электромеханических техникумов, утвержденного Главным управлением учебными заведениями Министерства коммунального хозяйства РСФСР. В первой части, не являющейся предметом настоящей рецензии, были рассмотрены вопросы механического и пневматического оборудования троллейбуса, вторая же, рецензируемая, часть указанного труда посвящается исключительно электрическому оборудованию троллейбуса. Она состоит из 14 глав, которым предпослано предисловие. В них рассматриваются: общая характеристика, состав и назначение электрооборудования; тяговые двигатели; пуск, регулирование скорости

и электрическое торможение; конструкция пусковых сопротивлений и расчет пусковых и регулировочных сопротивлений; токосъем и конструкция токоприемников троллейбусов; системы управления; защита электрического оборудования троллейбуса; электрические схемы троллейбусов; контакты и дугогасящие устройства; электрическая аппаратура троллейбусов; вспомогательные электрические машины троллейбуса; аккумуляторные батареи; вспомогательное оборудование троллейбусов; технические требования, предъявляемые к электрооборудованию троллейбусов типа МТБ-82Д. Книга завершается перечнем литературы (22 наименования).

Основным достоинством книги И. С. Ефремова является четкость и конкретность изложения. Рассмотрение электрического оборудования не ограничивается одним типом троллейбуса, в книге последовательно освещены схемы и элементы электрического оборудования, начиная от первых типов троллейбусов до современных машин МТБ-82М, МТБ-10, МТБ-82Д. Ценным является рассмотрение автором подробных технических данных электрических машин (стр. 23, 28, 42) и аппаратуры (стр. 238, 242). Наглядно представлены конструкции и принцип действия разнообраз-

ных агрегатов и электрической аппаратуры троллейбуса. Этому способствуют вклейки общих электрических принципиальных и монтажных схем современных типов троллейбусов. Описание элементов оборудования троллейбуса приведено с подробной характеристикой и ссылками на типы конкретного оборудования, выпускаемого отечественной промышленностью. В книге нашли отражение актуальные вопросы защиты от токов утечки и радиопомех. Следует отметить, что в данной книге впервые даны научные определения и классификации, а также введена отечественная терминология по основным вопросам, характеризующим электрическое оборудование троллейбуса. Уместно также отметить выполненное автором обобщение богатого опыта конструирования, изготовления и эксплуатации троллейбусов в СССР.

Наряду со значительными положительными качествами книги И. С. Ефремова ей присущ также ряд недостатков. Прежде всего вызывает сомнение принятый автором порядок расположения глав в книге. Системы управления и схемы троллейбусов рассматриваются автором позже тяговых двигателей и токосъема. Нам представляется более целесообразным после общей характеристики электрооборудования троллейбуса (глава I), рассмотреть систему управления (глава VI), затем защиту электрического оборудования троллейбуса (глава VII), далее электрическую схему троллейбуса (глава VIII), токосъем (глава V) и затем уже тяговые двигатели (глава II), потом пуск (глава III), конструкции пусковых сопротивлений (глава IV), электрическую аппаратуру троллейбуса (глава X), контакты и дугогасящие устройства (глава IX), вспомогательные электрические машины (глава XI), вспомогательное электрическое оборудование троллейбуса (глава XIII), аккумуляторные батареи (глава XII) и, наконец, технические требования, предъявляемые к электрооборудованию (глава XIV).

К числу принципиальных недостатков книги следует отнести отсутствие цифровых примеров расчета отдельных видов электрического оборудования и недостаточно полную характеристику и описание многих иллюстраций. Слишком кратко и лаконично изложены вопросы, освещающие конструкцию электрической аппаратуры, применяемой в отечественных троллейбусах. Отсутствует расчет тяговых электродвигателей. Недостаточно подробно рассмотрены автором конструктивные особенности тяговых двигателей и вспомогательных машин.

Мало места уделено изложению опыта лучших водителей троллейбуса, о работе которых автор лишь упоминает в предисловии. В книге оставлены без внимания важные вопросы борьбы за экономию электрической энергии и связанные с ними вопросы мастерского вождения троллейбуса, обеспечивающего совмещение наилучшего обслуживания пассажиров и предельной экономичности эксплуатации.

Хорошо изложен раздел по вентиляции тяговых двигателей. Однако на стр. 26 автор приводит явно завышенные данные верхнего предела коэффициента вентиляции, который для самовентилируемых тяговых двигателей определен в 0,7...0,9, тогда как в действительности верхний предел этого коэффициента для двигателей троллейбусного типа не превышает 0,8, что видно из данных отношения часовой и длительной мощностей троллейбусных тяговых двигателей, приведенных самим же автором на стр. 28 и 42.

Упущением является также отсутствие подробных технических данных и характеристик щеток, рекомендуемых для тяговых двигателей и вспомогательных машин.

Мало пользы найдет читатель в немногих графиках общего характера (рис. 24, 36 и др.) без численных обозначений на осях абсцисс и ординат. Недостаточно равномерно выбраны масштабы рисунков. В качестве примера можно привести огромный почти на всю страницу рисунок, представляющий контуры радиореактора без каких-либо конструктивных размеров и деталей (рис. 78).

Нельзя не отметить нечеткости некоторых формул, нарушающей логичность и последовательность изложения материала. Так, например, для неискушенного читателя неясно появление в формуле (44) для силы тяги на стр. 137 коэффициента 102:

$$P_k = G [i + w_0 + 102 (1 + \gamma) j] \text{ кг.}$$

Эту формулу целесообразно было бы написать с введением всех слагающих удельного сопротивления движению, а именно:

$$F_k = G [w_a + w_0 + w_i] \text{ кг,}$$

и в том числе w_a , обозначающего удельное сопротивление на преодоление пускового ускорения, которое, в свою очередь, представляют как

$$w_a = \frac{1000 (1 + \gamma) a}{9,81} = 102 (1 + \gamma) a \text{ кг/м.}$$

Для удельного сопротивления на преодоление подъема необходимо было написать:

$$w_i = i \text{ кг/м.}$$

Такое представление внесло бы большую стройность и ясность в указанную формулу.

Попутно следует отметить и неудачные обозначения в указанной формуле. Для обозначения силы тяги вместо P_k более целесообразно было бы принять F_k , так как через P принято обозначать мощность. Пусковое ускорение вместо j удобнее было бы обозначить через a .

В табличных данных имеются некоторые непонятные читателю данные. Так, например, в табл. 13 на стр. 238, указанные в числителе и знаменателе числа витков удерживающих катушек контактов контроллеров, фактически относящиеся к различным модификациям элементов контроллеров, изготавливаемых промышленностью, не имеют каких-либо пояснений.

В перечне литературы отсутствуют указания на руководящий документ — «Правила технической эксплуатации троллейбусного транспорта», а также на основные ГОСТ, в том числе ГОСТ на тяговые двигатели.

Указанные недочеты не снижают общей вполне положительной оценки книги.

Вторая из рецензируемых книг — «Электрооборудование троллейбусов в МТБ» С. А. Реброва одобрена Министерством коммунального хозяйства УССР в качестве практического пособия для водителей троллейбусов и троллейбусных хозяйств. Книга состоит из четырех глав с предпосланными им предисловием и введением. В ней рассматриваются: высоковольтное оборудование; высоковольтные электрические цепи; вспомогательное электрическое оборудование; управление троллейбусом и уход за электрическим оборудованием. После каждой главы содержатся контрольные вопросы. Книга завершается перечнем литературы на 17 наименований и двумя приложениями — одним, содержащим условные обозначения для электрических схем, и другим с технической характеристикой высоковольтного оборудования.

Бесспорно удачным в книге является показ токопрохождения в силовой цепи, приведенный автором в виде схем, начиная от первой до одиннадцатой ходовой позиции контроллера троллейбуса. Положительной оценки заслуживает также рассмотрение развернутых схем для различных позиций реостатного торможения, а также детальных развернутых схем цепи управления для различных основных позиций контроллера.

В книге, к сожалению, имеется ряд неточностей и искажений, дезориентирующих читателя и совершенно недопустимых в учебном пособии. Так, например, совершенно неудовлетворительно рассмотрена конструкция тяговых двигателей. На стр. 23 автор указывает, что листы железа якоря имеют торцевые отверстия, служащие для скрепления листов между собой и для прохождения охлаждающего воздуха. Первое утверждение совершенно абсурдно, так как указанные отверстия имеют единственное назначение в качестве вентиляционных отверстий, а никак не служат для скрепления листов железа якоря между собой, которое, как известно, осуществляется нажимными шайбами якоря. На стр. 24 указано, что под коллекторные пластины подкладывается изоляционное кольцо, а на рис. 16 вместо упомянутого кольца, введенного в середину коллектора, указан один из изоляционных конусов коллектора, а упомянутое изоляционное кольцо отсутствует вовсе. Далее в тексте автор опять возвращается к изоляционному кольцу и утверждает, что это кольцо состоит из двух половин, тогда как известно, что пластины коллектора изолированы от коробки коллектора цельным, а не разъемным изоляционным цилиндром. О двух изоляционных конусах коллектора не упоминается вовсе. Ничего не сказано и о способе крепления пластин на коробке коллектора посредством нажимного конуса, входящего в изоляционный конус, и гайки коллектора. Говоря о конструкции щеткодержателей, на стр. 21 автор указывает, что щетки при-

жимаются рычагами, не упоминая о спиральных пружинах, осуществляющих нажатие щеток на коллектор. Говоря о токопроводе к щеткодержателю, автор опускает важное соединение в виде токоведущего канатика от щетки к щеткодержателю. Таким образом, глава, посвященная конструктивным особенностям тяговых двигателей, составлена небрежно. В книге можно найти и другие искажения. Так, например, при рассмотрении величины нормального нажатия токоприемника на контактный провод автор приводит 4 разноречивых указания этой величины: так, на стр. 9 указано, что величина давления токоприемника на контактный провод должна быть в пределах 10...12 кг; на стр. 88 и 98 указано, что величина нажатия должна быть 8 кг, а на стр. 107 уже приводится возможный диапазон регулировки от 9,5 до 15 кг. Номинальная величина нажатия токоприемника регламентируется Правилами технической эксплуатации троллейбусов и должна находиться в пределах 12...14 кг. Автору, повидимому, следовало объяснить введенные им отклонения от этой средней нормы.

При рассмотрении конструкции токоприемника на рис. 2 в экспликации не приводится основная часть токоприемника — угольно-графитная контактная вставка. В тексте же указывается, что основной частью головки токоприемника является бронзовый ползунок, а не сама вставка. Автор рассматривает конструкцию токоприемника ленинградского типа, но не считает нужным упомянуть также о хорошо себя зарекомендовавшей в эксплуатации в Москве конструкции токоприемника системы инж. А. М. Земскова.

Явно завышены приводимые на стр. 54 данные, характеризующие эффективность рекуперации энергии, что в особенности относится к цифре 30%, получаемой, по мнению автора, при движении троллейбуса на больших уклонах. Высоко пролегающие характеристики тягового двигателя, которым оборудованы троллейбусы МТБ-82, как и указывает автор, дают возможность эффективного рекуперативного торможения до скорости 20...22 км/час, тогда как на затяжных уклонах такая скорость не допускается вовсе, что ограничивает на таких уклонах применение рекуперативного торможения вообще. Что касается цифры в 40%, получаемой якобы при движении троллейбуса между останочными пунктами, то и эта цифра сильно завышена. Здесь следует упомянуть о том, что в условиях движения московского троллейбуса, как показали исследования, средняя величина рекуперированной энергии на равнинной трассе составляет всего 5%.

Имеются неточности в подписях под рисунками; так, например, на рис. 26 указывается, что на нем изображена схема реверсора, в действительности же представлена не схема, а принципиальная конструкция реверсора. Совершенно неудачно также графическое изображение на рис. 63 двигателя мотор-компрессора. Путанностью и недоработанностью отличается рис. 5. Имеются недочеты и в символических изображениях; так, например, во всех схемах автор обозначает тяговый двигатель двумя концентрическими кружками вместо общепринятого одного.

В ряде случаев уделяется неравномерное внимание рассмотрению основного и вспомогательного электрооборудования. Так, например, на стр. 79 подробно рассматриваются возможные неисправности аккумуляторов, в то время как о неисправностях основного оборудования тяговых двигателей, вспомогательных машин, контакторов, контроллера автор не говорит ничего.

Автор книги ориентирует читателя на допотопную технику, предлагая, например, на стр. 9 метод проверки состояния изоляции цепей троллейбуса по наличию искрения между токоприемниками и контактным проводом, при отрыве одного из них, при всех отключенных цепях троллейбуса.

Следует отметить небрежное редактирование книги (редактор инж. В. А. Алекторов). В ряде мест имеются повторения. Например, на стр. 23 дважды упоминается об укладке секций в пазы и приводится необоснованная ссылка на «пластины коллектора 6» без указания, к какому рисунку относится эта ссылка. На стр. 34 повторяется ранее рассмотренное направление тока в цепи серийных катушек. На стр. 36 оставлено без пояснения назначение дополнительной секции 1040 Ом и вовсе не указывается разрядное сопротивление 600 Ом, включаемое параллельно цепи шунтовой обмотки. При рассмотрении аккумуляторов на стр. 76 не указывается, что автор ограничивает рассмот-

рение лишь кислотными свинцовыми аккумуляторами. На стр. 80 неудачно сказано, что пазы якоря находятся на поверхности последнего. Книга в целом носит на себе следы поспешности и небрежности как со стороны автора, так и редактора и не может быть рекомендована читателю.

Другая книга С. А. Реброва «Устройство и эксплуатация троллейбусов» рассматривает комплексно все оборудование троллейбуса. Она одобрена Киевским отделением ВНИТО городского электротранспорта и предназначается для водителей троллейбуса и среднего технического персонала, участвующего в ремонте и эксплуатации троллейбусов.

Книга состоит из четырех частей. Часть I посвящена механической части троллейбусов; часть II рассматривает воздушно-тормозное оборудование; часть IV содержит вопросы, касающиеся технической эксплуатации.

В третью часть книги, посвященную электрическому оборудованию троллейбусов, целиком вошла уже рассмотренная выше первая книга этого автора «Электрическое оборудование троллейбусов», в несколько переработанном и дополненном виде. В частности, в эту часть автором введены новые разделы, посвященные рекуперативному, реостатному и воздушному торможению троллейбуса, рассмотрены вопросы безопасности движения, материал по тяговым двигателям выделен в самостоятельную главу, где нашли, в частности, рассмотрение обмотки якорей тяговых двигателей и сформулированы технические требования, предъявляемые к тяговым электродвигателям.

К достоинствам данной книги С. А. Реброва следует отнести достаточно подробное рассмотрение электрических, механических и пневматических устройств и оборудования современного троллейбуса, а также вопросов, связанных с технической эксплуатацией троллейбусов. Книга хорошо иллюстрирована примерами существующего современного оборудования троллейбусов, выпускаемого отечественной промышленностью, а также содержит конкретные указания по уходу за троллейбусом, в которых, в частности, приводятся характеристики осмотров и ремонтов.

Книга имеет некоторые существенные недостатки, частично уже отмеченные выше. Это относится в первую очередь к грубейшим и принципиальным ошибкам, касающимся главным образом конструкции тяговых двигателей.

Автор (во введении) явно недооценивает достижения современной троллейбусной техники, указывая в характеристике недостатков троллейбуса по сравнению с трамваем — «ограничение скорости из-за соскакивания токоприемников с контактных проводов (особенно на специальных устройствах контактной сети)». Дело в том, что современное состояние контактной сети троллейбуса и усовершенствование его токоприемников (применение, например, конструкции головки токоприемника системы А. М. Земскова) обеспечивают стабильность работы токоприемников без сходов с контактного провода, что обеспечивает троллейбусу возможность прохождения спешащей воздушной контактной сети практически без снижения скорости. Рассматривая на стр. 100 общую характеристику тяговых электродвигателей, автор утверждает: «Тяговые электродвигатели, будучи расположены под кузовом, подвергаются воздействию воды, пыли, снега и пр., что вынуждает применять конструкцию закрытого типа». Автор не указывает здесь на выполнение тяговых двигателей самовентилируемого типа, характерное для городского электротранспорта и троллейбусного транспорта, в частности. На стр. 101 автор пишет: «Тяговые двигатели должны иметь усиленную изоляцию, рассчитанную на более высокое напряжение, по сравнению с электродвигателями, применяемыми в промышленных установках». Подобного рода констатация лишена точного смысла, так как известно, что в промышленных установках зачастую применяются двигатели, рассчитанные на рабочее напряжение 6 и даже 10 кВ, тогда как троллейбусные тяговые двигатели работают всего при напряжении 0,6 кВ.

Приведенные автором на стр. 210 данные по эффективности рекуперации: на спусках возврат энергии указан до 30% и на подъезде к остановам 40%, явно завышены.

На стр. 102 автор приводит неверные данные по пределам изменения тока возбуждения в параллельной обмотке двигателей; так, автор указывает для двигателя ДТБ-60 значения 1—2 а (вместо 0,337...4,47 а по данным заводских характеристик), для двигателя ДК-201 тоже

1—2 а (вместо 0,2...3,88а) и для двигателя ДК-202 (кстати правильно именуемым ДК-202-Б) указывает величину тока возбуждения параллельной обмотки 2...3 а (вместо действительных 0,4...3,5 а). На стр. 108 на рис. 76 и в соответствующем месте текста автор приводит и описывает несуществующую конструкцию изоляции пластин коллектора от нажимной шайбы и от коробки коллектора.

Книга изобилует рядом других технических неточностей и промахов. Так, например, на стр. 118 указывается, что, по мнению автора, поверхность коллектора может загрязняться маслом из подшипников, тогда как известно, что подшипники качения, которыми оборудуются современные тяговые двигатели, смазываются консистентной смазкой, а не маслом. На стр. 124 автор, рассматривая контакторы, указывает, что на троллейбусах применяются контакторы типа КПД. Сказанное справедливо для троллейбусов типа МТБ-82, но так как автор упоминает и троллейбусы других выпускавшихся ранее типов, то уместно было отметить, что на троллейбусах типа ЯТБ применялись контакторы специального типа серии МК.

На стр. 134, говоря о сопротивлениях, установленных на троллейбусе, автор забывает сказать о разрядном сопротивлении, включаемом параллельно шунтовой обмотке и имеющем значение 600 ом. Это же сопротивление, а также одну из обмоток реле стопсигнала РСС автор забывает привести на схемах рис. 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 124, 125 и 126.

На стр. 148 автор приводит интересную таблицу включений контактов и контакторов троллейбусов МТБ, характеризующую последовательность включения контактов контроллера управления, тормозных контактов, блокировочных контактов и контакторов. Лучше было бы сначала рассмотреть основные элементы, определяющие последовательность включений элементов электрического оборудования в схеме. В условных обозначениях контактов автор допускает грубую ошибку, подразделяя на схеме все контакты на рабочие (черные) и нерабочие (контурные). Здесь автор упускает из виду, что все параллельные контакты обтекаются частью тока в соответствии с законом Кирхгофа.

При рассмотрении аппаратуры в книге вовсе не приводится конструкция реле стопсигнала, представляющего собой интересную конструкцию двухобмоточного дифференциального реле.

Автор допускает также технические неточности в части техники безопасности. На стр. 204 при рассмотрении изоляции высоковольтного оборудования автор указывает, что минимально возможная величина сопротивления человеческого тела при неблагоприятных обстоятельствах падает до значения 2 000...3 000 ом, тогда как в действительности по данным исследований рецензента эта величина может достигать значения 1 000 и даже в отдельных случаях 500 ом. Во всяком случае в расчетах следует принимать значение сопротивления в 1 000 ом, что рекомендуется, в частности, Академией медицинских наук СССР.

На стр. 219 автор предлагает отнять токоприемники в случае, если возникшая вспышка не прекращается после выключения максимального автомата и рубильника цепи управления. С такой формулировкой нельзя согласиться, так как опускание штанг при возникновении вспышки обязательно независимо от прекращения вспышки, после чего и следует отыскать место аварии и установить ее причины.

Несмотря на досадные ошибки, книга в целом может быть полезной для работников троллейбусного транспорта.

Несколько более узкое назначение имеет книга В. Л. Марковникова и Д. И. Перкиса «Учебное пособие для водителей троллейбуса». Книга рекомендована ГУУЗ МКХ РСФСР. В этой книге в весьма сжатом виде разобрано все основное электрическое, механическое и пневматическое оборудование троллейбуса, а также затронуты вопросы особенности его эксплуатации.

Основным достоинством издания является тщательность формулировок и определений наряду с рассмотрением образцов современных типов оборудования троллейбуса

при тщательном редактировании (редактор инж. М. Н. Шполянский). Следует считать правильным, что авторы начинают рассмотрение оборудования троллейбуса не с механической части, а с электрического оборудования.

Должно быть отмечено отсутствие в главе I, сообщаемой читателю некоторые основные понятия об электричестве, сведений о преобразовании энергии, о выработке энергии, а также о видах тока, о путях его передачи и преобразования. Рассмотрение только одного постоянного тока недостаточно. Поскольку в книге существует специальная глава, посвященная вопросам устройства контактной сети, следовало бы дополнить эту главу краткими сведениями по вопросам электроснабжения транспорта. На стр. 14 указывается, что академик Б. С. Якоби создал первый в мире электрический двигатель. Это утверждение не совсем точно. Заслуга Б. С. Якоби заключается не в создании первого электрического двигателя (они существовали и до него), а в создании первого в мире двигателя, основанного на принципе вращательного движения.

В главе II на стр. 34 авторы говорят о замкнутой цепи по системе питания переменного и преобразованного постоянного тока. Более правильно и более наглядно было бы показать замкнутую электрическую цепь по каждой из названных систем в отдельности.

Указанное на стр. 37 общее число витков (102) для обмоток последовательного возбуждения всех полюсов неверно, в действительности это число равно 162, так как обмотка последовательного возбуждения имеет по 11,5 витков на каждом главном полюсе, тогда как обмотка добавочных полюсов имеет по 29 витков на полюс. Правильнее было бы указать именно значения числа витков, приходящихся на один полюс. В целях практической ценности для эксплуатационников и ремонтников уместно было бы привести не сечение обмоточной меди, а дать ее геометрические размеры.

Следует отметить неудачные ненормализованные символы, применяемые авторами. Сказанное относится как к обозначениям физических величин (напряжения V вместо U , мощности W вместо P и пр.), так и к графическим изображениям, например, обозначения обмоток возбуждения на рис. 18 и др. К числу более мелких недочетов рецензируемой книги следует отнести небольшие неточности формулировок при рассмотрении вспомогательного оборудования, например, на стр. 24 говорится, что высоковольтные предохранители имеют специальное устройство для гашения дуги. На самом деле это не так, гашение дуги обеспечивается специальным конструктивным исполнением высоковольтных предохранителей, предусматривающим искрогасящие твердые сыпучие наполнители. На стр. 29 указывается, что спиральная пружина подвижной системы амперметра служит для удержания рамки амперметра в определенном положении. Помимо этого необходимо было указать, что названная пружина служит также и для обеспечения подвода тока к рамке измерительной системы амперметра.

Следует обратить также внимание на недостаточно четкое и наглядное изображение схем.

В целом книга заслуживает данной ей ГУЗом МКХ РСФСР рекомендации как руководства для водителей троллейбуса.

В заключение хочется отметить в качестве весьма положительного явления растущий выпуск литературы по троллейбусному транспорту, который завоевал прочное место в системе городского электрического транспорта в СССР.

Если одна из книг С. А. Реброва («Электрооборудование троллейбусов») является безусловно неудачной, то остальные рецензируемые книги заслуживают в общем положительной оценки. Они смогут принести существенную пользу не только для подготовки квалифицированных кадров для растущего троллейбусного хозяйства, но и для усовершенствования работников этой отрасли.

Будем надеяться, что в последующих изданиях отмеченные в настоящей рецензии недостатки будут устранены.

кандидат техн. наук Ю. М. ГАЛОНЕН



Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

(издания 1952 г.)

Альфвен Х. КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. Пер. с англ. С. М. Полоскова, под ред. С. Б. Пикельнера, 291 стр., ц. 14 руб. 90 коп. Изд. иностр. литературы.

АННОТИРОВАННЫЙ УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ И КАБЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. Выпуск IV, 27 стр., беспл. Всесоюзный заочный энергетический институт.

* Бангиданов Л. Н. и Тарасов В. И. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ. Изд. 2-е переработ. т. I, 296 стр., ц. 14 руб. 65 коп. Госэнергоиздат.

Белоруссов Н. И., Гроднев И. И. РАДИОЧАСТОТНЫЕ КАБЕЛИ. Допущено отделом учебных заведений МЭП СССР в качестве учебного пособия для техникумов. 272 стр., ц. 6 руб. 60 коп. Госэнергоиздат.

ВКЛЮЧЕНИЕ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И КОМПЕНСАТОРОВ СПОСОБОМ СИНХРОНИЗАЦИИ. 59 стр., ц. 1 руб. 95 коп. ЦНИЭЛ, Госэнергоиздат.

Гумеля А. Н. и Малышев В. З. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ И КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ. 127 стр., ц. 4 руб. 85 коп. Связьиздат.

ДЕТАЛИ И ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ. Пер. с англ. под ред. А. Я. Брейтбарга. 464 стр., ц. 22 руб. 40 коп. Изд. «Сов. радио».

Евтеев Ф. Е. и Жуков В. А. ТЕХНОЛОГИЯ РАДИОАППАРАТУРЫ. 360 стр., ц. 18 руб. Госэнергоиздат.

Зимин Б. Г. СТРОИТЕЛЬСТВО СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. Под ред. В. П. Хашинского. 96 стр., ц. 1 руб. 25 коп. Сельхозгиз.

Ивановский М. ПОКОРЕННЫЙ ЭЛЕКТРОН. ОТКРЫТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА. 431 стр., ц. 5 руб. 35 коп. Изд. Молодая гвардия.

Иосифьян А. Г. ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОПАХОТЫ. 66 стр. + 4 вклейки, ц. 2 руб. Издательство АН Армянской ССР, Ереван.

Касаткин А. С., Перекалин М. А., Сергеев П. С. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. Изд. 4-е совершенно переработ. 360 стр., ц. 17 руб. 35 коп. Госэнергоиздат.

Кацман Ю. А. ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАДИОЛАМП. 272 стр., ц. 11 руб. 25 коп. Госэнергоиздат.

Клементьев С. ТЕХНИКА ВЕЛИКИХ СТРОЕК КОМУНИЗМА. 79 стр., ц. 1 руб. 50 коп. Госкультпросветиздат.

Костин К. Ф. и Нейман С. Б. НОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СТРОЙКАМ КОМУНИЗМА. 54 стр., ц. 95 коп. Уралэлектроаппарат, Машигиз.

* Круг К. А., Даревский А. И., Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Ломоносов В. Ю., Нетушил А. В. и Страхов С. В. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. под общ. ред. К. А. Круга, 432 стр., ц. 20 руб. 25 коп. Госэнергоиздат.

Кузнецкий Г. И. ОПЫТ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОМОНТЕРОВ НА ОСНОВЕ ПЕРЕДОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ. 29 стр., беспл. Труд-резервиздат.

Кулешов В. Н., Малышев В. З. и Шварцман В. О. СИММЕТРИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ. 212 стр., ц. 7 руб. 75 коп. Связьиздат.

Кязимзаде З. И. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. 648 стр., ц. 17 руб. на азербайдж. яз. Азнефтенздат.

* Лежнева О. А. и Ржонский Б. Н. ЭМИЛИЙ ХРИСТИАНОВИЧ ЛЕНЦ (1804—1865). 191 стр., ц. 4 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

Лунзов А. В. и Понизовский Л. Б. В НЕДРАХ ВЕЩЕСТВА. ОЧЕРК РАЗВИТИЯ АТОМИСТИЧЕСКИХ ВЗГЛЯДОВ НА МИР. 148 стр., ц. 3 руб. 35 коп. Лениздат.

Лютос С. А. ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ПОМЕХИ РАДИОПРИЕМУ И БОРЬБА С НИМИ, изд. 3-е, переработ., 320 стр., ц. 9 руб. 5 коп. Госэнергоиздат.

* Маркович И. М. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РЕЖИМЫ. 312 стр., ц. 15 руб. Госэнергоиздат.

Начарян С. А. и Стрелковский С. А. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. Под ред. В. П. Хашинского. 104 стр., ц. 1 руб. 40 коп. Сельхозгиз.

Несмеянов А. Н. МЕЧЕННЫЕ АТОМЫ. Изд. 2-е, 63 стр., ц. 1 руб. 5 коп. Гостехиздат.

* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается писемное рецензирование.

ОПЫТ МЕХАНИЗАЦИИ И СКОРОСТНЫЕ МЕТОДЫ МОΝТАЖНЫХ РАБОТ НА СТРОИТЕЛЬСТВАХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. Сборник материалов МЭС СССР под ред. Н. М. Бондарева. 152 стр., беспл. Госэнергоиздат.

ПОЛУПРОВОДНИКИ. ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ. Пер. с франц. под ред. Е. Я. Пумпера. 184 стр., ц. 7 руб. Изд. «Сов. радио».

Попов В. С. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ. Изд. 4-е, заново переработ., 384 стр., ц. 11 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

Пороговые сигналы. Пер. с англ. под ред. А. П. Свиерса. 403 стр., ц. 18 руб. 50 коп. Изд. «Сов. радио».

Привезенцев В. А. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА С ЭМАЛЕВОЙ И ВОЛОКНИСТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ. Изд. 2-е, переработ. и доп. 432 стр., ц. 9 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

Путилов К. А. КУРС ФИЗИКИ. Т. I, изд. 5-е переработ. и доп. 792 стр., ц. 16 руб. 75 коп. Учпедгиз.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДАВЛЕНИЮ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ ЛАМПОВЫМИ УСТАНОВКАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ. 28 стр., ц. 80 коп. ЦБТИ МЭП СССР.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДАВЛЕНИЮ РАДИОПОМЕХ СОЗДАВАЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ. 64 стр., ц. 3 руб. ЦБТИ МЭП СССР.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДАВЛЕНИЮ РАДИОПОМЕХ СОЗДАВАЕМЫХ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ. 64 стр., без цены. ЦБТИ МЭП СССР.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ И ИСПЫТАНИЮ ДРОССЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОПОМЕХ. 130 стр., без цены. ЦБТИ МЭП СССР.

* Ренне В. Т. УДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ. (Лекция.) 33 стр., беспл. Всесоюзный заочный энергетический институт.

Ренне В. Т. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ. 512 стр., ц. 19 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

Саложников А. В. КОНСТРУИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ. 192 стр., ц. 9 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

Солнцев Б. К. ПРЕЦИЗИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ. 20 стр., ц. 60 коп. Связьиздат.

Стендер П. В. ОПЕРАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ. Конспект лекций. 55 стр., беспл. Ленингр. заочн. индустр. институт.

Стокер, Дж. НЕЛИНЕЙНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. Пер. с англ. Н. А. Талицких под ред. А. И. Лурье. 264 стр., ц. 13 руб. 75 коп. Изд. иностр. литературы.

* Тареев В. М., Гольдман И. М., Коваленко Г. М., Колмоицев Ф. И., Вреден-Кобецкая Т. О., Нейшильд В. Г. НАУЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ДИЭЛЕКТРИКАМ. Под редакцией В. М. Тареева. (Академия наук СССР. Физический институт им. П. Н. Лебедева). 671 стр., ц. 36 руб. Академиздат.

Трочун И. П. ПАМЯТКА ЭЛЕКТРОСВАРЩИКУ (на стронт. площадках). 104 стр., ц. 1 руб. 95 коп. На укр. яз. Машигиз.

Тюльпанов А. И. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕЛЬСКИХ ГЭС 152 стр. ц. 4 руб. 75 коп. Белоруссиздат.

УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ. Сборник под ред. З. Ш. Блох, К. В. Егорова. 248 стр., ц. 9 руб. 45 коп. Машигиз.

* Федосеев А. М. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ. 480 стр., ц. 17 руб. 10 коп. Госэнергоиздат.

Ферми Э. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. Пер. с англ. Б. М. Болотовского. 104 стр., ц. 6 руб. 10 коп. Изд. иностр. литературы.

ФИЛОСОФСКИЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ. Сборник статей под ред. А. А. Максимова и др. 576 стр., ц. 22 руб. 80 коп. Инст. философии АН СССР. Академиздат.

Царев Б. М. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП. 344 стр., ц. 10 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

* Чукаев Д. С. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ. 352 стр., ц. 9 руб. 40 коп. Изд. Мин. комму. хоз. РСФСР.

ЭЛЕКТРОПРИВОД СТАЦИОНАРНЫХ с.-х. МАШИН. Альбом чертежей. Вып. I. Электропривод стац. с.-х. машин, примен. на животноводческих фермах. 56 стр., ц. 18 руб. 10 коп. ВИАЭС, Главсельэлектро МСХ СССР.



Сдано в набор 18/XI 1952 г.

Объем 12 п. л.

T-00245

Уч.-изд. л. 16,6

Тираж 16 450 экз.

Подписано к печати 6/II 1953 г.

Бумага 60×92¹/₈

Заказ 3400

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

**— НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ —
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

**Орган Академии наук СССР, Министерства электростанций СССР
и Министерства электропромышленности СССР**

Основан в 1880 г. Русским техническим обществом

Журнал рассчитан на широкие круги инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники.

В соответствии с программой нового мощного подъема народного хозяйства СССР, предусмотренного директивами XIX съезда КПСС по пятому пятилетнему плану, в журнале систематически освещаются основные теоретические и практические вопросы, связанные с развитием электротехники и с дальнейшей электрификацией всех отраслей промышленности, сельского хозяйства, транспорта и коммунального хозяйства СССР.

В журнале освещаются новые научно-технические проблемы, связанные с величайшими энергетическими сооружениями Сталинской эпохи.

Журнал «Электричество» уделяет особое внимание вопросам внедрения в производство новой передовой электротехники. В журнале регулярно ведется раздел «Из опыта работы» и печатаются обзоры, обобщающие опыт новаторов науки и техники.

Журнал «Электричество» систематически освещает вопросы истории русской электротехники, информирует читателей в рефератах и обзорах о важнейших материалах отечественной и иностранной электротехнической периодики. В журнале регулярно проводятся научно-технические дискуссии.

В журнале «Электричество» участвуют видные ученые и специалисты — электротехники Советского Союза.

12
номеров
в год
(144 печ. листа)

**Годовым подписчикам на
журнал будет выслан в качестве
приложения календарь-
справочник на 1953 г.**

**Подписная
цена
96 руб.**

**Подписка на журнал „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“ принимается во всех
отделениях Союзпечати и во всех почтовых отделениях**