

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ЖЛЖ



193600, г. Ленинград,
ул. М. М. Ульяновой, 1
Бюро по делам об электричестве
Инженер Н. В. Заславский



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

9

1949

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

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

СОДЕРЖАНИЕ

И. С. Брук, И. М. Маркович, В. И. Горюшкин и С. А. Совалов — Автоматическое распределение активных нагрузок в электроэнергетической системе	3
Г. И. Атабеков, Е. Д. Сапир и И. И. Соловьев — Высокочастотные защиты ЦНИЭЛ МЭС	7
В. Л. Иносов и Л. В. Цукерник — Компаундирование мощных синхронных генераторов с электромагнитным корректором напряжения	15
Ю. М. Элькинд — Установка для проверки частотомеров с использованием несущей частоты радиостанции	23
Г. А. Ривкин — Построение круговых диаграмм для регулирования ионных преобразователей	28
Т. Я. Ходоров — Частотные искажения при воспроизведении однократных процессов	30
Б. Г. Оркина — Температурные напряжения в роторных стержнях двигателей с глубоким пазом	32
Ф. И. Бутаев — Влияние ионных токов на устойчивость дуги возбуждения ртутного выпрямителя	37
А. И. Долгинов — Волновые характеристики линий при высоких напряжениях	39
Д. В. Разевиг — Защита вращающихся машин, работающих на воздушные сети, от атмосферных перенапряжений	45
А. И. Зайцев и И. Д. Кутивин — Расчет линий высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой	51
П. Н. Горюнов — Погрешности индукционных счетчиков при пониженном напряжении	53
В. А. Привезенцев — Основные вопросы изоляции обмоточных проводов	58
Г. С. Борчанинов — Устойчивость горения дуги переменного тока	64
А. С. Филаретова — Электромагнитная связь бесконтактной сети и приемного витка экипажа высокочастотного транспорта	68
ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	
О. Б. Брон — М. О. Доливо-Добровольский — изобретатель искрогасительной решетки	71
ОБЗОРЫ И РЕФЕРАТЫ	
А. В. Сапожников и Л. М. Шницер — Стандарты на трансформаторы в зарубежных странах и ГОСТ	74
В. Т. Ренне — Непроволочные угольно-керамические сопротивления поверхностного типа	77
М. С. Баяхчев — Регулирование напряжения последовательно включенными конденсаторами	78
В. Т. Ренне — Новости в области конденсаторостроения	79
КОНСУЛЬТАЦИИ	81
ДИСКУССИИ	
К статье П. Л. Калантарова и Л. Р. Неймана „Определения понятий, относящихся к области электромагнитных явлений“	82
ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА	
О. И. Золотарев — Технические термины должны быть точными	86
ХРОНИКА	
Опыт творческого содружества ученых и производственников	87
Белорусская конференция энергетиков	88
В Киевском межобластном отделении ВНИТОЭ	89
Уральская научно-техническая сессия по электрической изоляции	90
Научно-техническая сессия Азербайджанского индустриального института им. Азизбекова	91
БИБЛИОГРАФИЯ	
Н. А. Капцов — Книга Л. А. Сена „Столкновения электронов и ионов с атомами газа“	92
Н. А. Мельников — Книга С. А. Ульянова „Короткие замыкания в электрических системах“	93
З. Г. Каганов — Книга Я. Л. Быховского и В. Л. Бакинского „Импульсные измерения линий электропередачи и электросвязи“	94
Л. Д. Белькинд — „Павел Николаевич Яблочков. Библиографический указатель“	95
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. Глазунов**, член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик **В. Ф. Миткевич**, канд. техн. наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**.

Адрес редакции: Москва, Б. Чернасский пер., д. № 2, тел. К 4-24-80

Адрес для телеграмм: Москва Электричество

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

Автоматическое распределение активных нагрузок в электроэнергетической системе

*Член-корр. Академии наук СССР И. С. БРУК, доктор техн. наук И. М. МАРКОВИЧ,
кандидат техн. наук В. И. ГОРУШКИН, кандидат техн. наук С. А. СОВАЛОВ*

Москва

Проблема экономического распределения активных нагрузок между станциями электроэнергетической системы тесно связана с проблемой регулирования частоты. Как известно, заданные заранее станциям графики нагрузки не обеспечивают поддержания надлежащего уровня частоты в системе. Если же регулирование частоты возложено на одну из станций энергосистемы, а остальные работают по графику, то режим системы в целом может оказаться неэкономичным.

Иллюстрируем это двумя простыми примерами. Пусть регулирование частоты поручается одной из экономичнейших станций системы. При снижении суммарной нагрузки системы ниже запланированного графика это снижение будет принято только на эту экономичную станцию, в то время как менее экономичные станции не будут разгружаться, что явно невыгодно. Если же регулирование частоты поручено неэкономичной станции, то при росте суммарной нагрузки системы сверх запланированного графика этот рост будет принят только на регулируемую неэкономичную станцию, в то время как более экономичные станции не будут нагружаться.

Очевидно, что после того, как в результате изменения нагрузки системы нагрузка частотной станции, установленная по экономическим или другим соображениям, отклонится от назначенной ей величины, необходимо обеспечить перераспределение нагрузок между станциями системы в соответствии с требованиями экономичности.

Одновременно должна решаться задача сохранения регулировочной способности частотной станции. С этой точки зрения целесообразно было бы поддерживать нагрузку частотной станции, если это не противоречит экономичности, на некотором определенном уровне или в некотором определенном диапазоне, обеспечив необходимое экономическое изменение нагрузки остальных

Описывается разработанное в 1946—1947 гг. в лаборатории электросистем ЭНИН автоматическое устройство «РАН» (распределитель активных нагрузок), дающее оптимальное с точки зрения экономичности распределение активных нагрузок между станциями электроэнергетической системы.

нерегулирующих станций. Перераспределение нагрузки между станциями при регулировании частоты может, очевидно, выполняться диспетчером по

таблицам экономического распределения нагрузок.

Однако, такое распределение крайне затруднительно, так как требует от диспетчера непрерывного наблюдения за суммарной нагрузкой системы, проверки нагрузок станций и сопоставления их с данными по таблицам. Поэтому автоматизация этого процесса под контролем диспетчера представляется совершенно необходимой как с точки зрения автоматического регулирования частоты, так и для экономичности режима.

Для этой цели в 1946—1947 гг. в Лаборатории электросистем Энергетического института Академии наук СССР было разработано специальное устройство, кратко называемое РАН (распределитель активных нагрузок).

Схема распределителя активных нагрузок. Изучение вопроса об экономическом распределении активных нагрузок между станциями и генераторами электроэнергетической системы показывает, что при росте суммарной нагрузки генераторы следует загружать в определенном порядке. Важно, что нет необходимости одновременно поднимать нагрузку на двух или нескольких машинах. Сначала нагрузка поднимается до определенной величины на одной из машин, затем на другой и т. д.

Каждый генератор имеет несколько регулировочных диапазонов. Один из них соответствует диапазону от минимальной нагрузки агрегата до точки открытия перегрузочных клапанов, второй и последующие — работе с открытием перегрузочных клапанов, т. е. в области менее экономичной работы. При экономическом распределении нагрузок, как правило, сначала используются более экономичные диапазоны отдельных агрегатов в порядке их экономичности (по относитель-

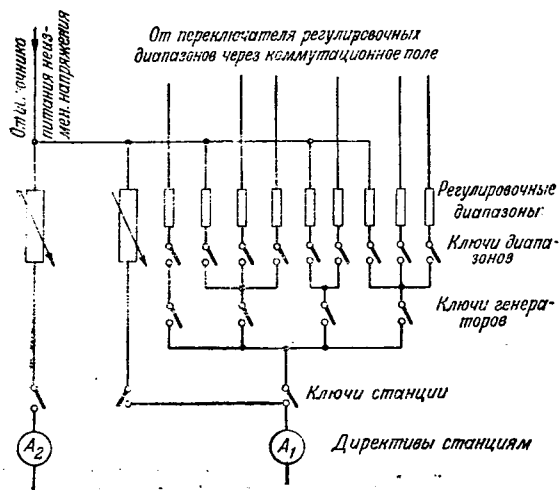


Рис. 1.

ным приростам условного топлива или стоимости) и затем менее экономичные диапазоны в порядке нарастания величины относительного прироста. Последовательность использования отдельных диапазонов отдельных агрегатов определяется только возрастанием величины относительного прироста. Если в основу принципа распределения нагрузок положить не относительные приросты условного топлива, а относительные приросты стоимости (руб./гис. квт-ч) или какой-либо другой принцип, то чередование регулировочных диапазонов отдельных агрегатов может быть другим. Конструкция РАН позволяет обеспечить любую очередность использования регулировочных диапазонов, т. е. позволяет осуществить распределение мощностей по любому принципу.

В распределителе активных нагрузок все генераторы системы изображаются рядом проводимостей, величина каждой из которых пропорциональна величине регулировочного диапазона. Сумма проводимостей, соответствующих одному генератору, дает полную мощность генератора; сумма проводимостей, соответствующих всем генераторам станции, дает величину полной мощности станции. На рис. 1 изображена схема соединения проводимостей. По мере роста нагрузки системы переключатель присоединяет их параллельно друг другу к источнику питания со строго постоянным напряжением. Последовательность включения зависит от того, как проводимости присоединены к переключателю. Коммутационное поле позволяет осуществить ту последовательность, которая соответствует условиям экономичности работы системы и задается в настоящее время таблицами. Ток через контакты ключей с обозначениями генераторов дает в известном масштабе экономичную нагрузку генераторов; ток через контакты ключей с обозначениями станций (последовательно с ключами присоединены измерительные приборы) дает экономичную нагрузку станций.

Переключатель должен всегда находиться в положении, при котором сумма нагрузок станций по показателям приборов РАН равна общей

нагрузке системы. На рис. 2 изображена скелетная схема включения РАН, поясняющая, как это достигается. Нуль-индикатор сравнивает показания телесумматора фактических мощностей станций системы ΣP с суммой показаний директивных приборов (приборов, показывающих экономичную нагрузку станций системы) ΣA и, воздействуя через усилитель на привод переключателя, поддерживает равенство $\Sigma P = \Sigma A$.

Для того чтобы сравнительно небольшие изменения нагрузок системы не вызвали изменения нагрузок отдельных станций в распределителе нагрузок предусмотрено "выравнивающее устройство", которое присоединяется к источнику питания РАН параллельно регулировочным диапазонам той станции, которая регулирует частоту (рис. 2 и 3). Нуль-индикатор воздействует не на серводвигатель главного переключателя регулировочных диапазонов, а на серводвигатель ползушки выравнивающего реостата. При заранее

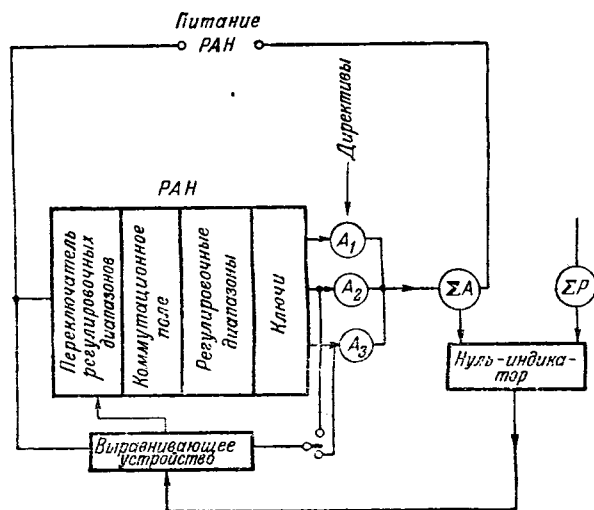


Рис. 2.

заданных (установкой контактов K_3 и K_4) изменениях суммарной нагрузки системы баланс $\Sigma P = \Sigma A$ в РАН восстанавливается за счет перемещения ползушки выравнивающего реостата. Это соответствует тому, что изменяется нагрузка только частотной станции, а нагрузка других станций системы остается неизменной. Лишь когда ползушка выравнивающего реостата замкнет контакт K_3 или K_4 , начнет работать переключатель регулировочных диапазонов. Его перемещение прекратится только после возвращения ползушки выравнивающего реостата в зону между контактами K_1 и K_2 .

Контакты K_1 , K_2 , K_3 , K_4 могут быть установлены в любой точке реостата по желанию диспетчера системы. Об установке этих контактов будет сказано ниже.

Для каждой станции системы в РАН предусмотрен реостат, который может быть присоединен к источнику питания параллельно регулировочным диапазонам данной станции (рис. 1). Ползушка реостата перемещается от руки.

Часть регулировочных диапазонов присоединена к источнику питания мимо контактов переключателя (рис. 1). Они соответствуют минимальным нагрузкам агрегатов станции. Эта нагрузка может быть снята только при останове агрегата.

Управление распределителем нагрузок. РАН действует автоматически и указывает нагрузки станций, соответствующие условиям экономической работы системы. Однако, ряд операций по управлению распределителем нагрузок выполняется вручную.

Модернизация или замена оборудования станций может привести к изменению величины регулировочных диапазонов. В этом случае в РАН производится замена соответствующих проводимостей. В случае необходимости одновременно производятся переключения на коммутационном поле для того, чтобы задать нужную последовательность загрузки регулировочных диапазонов. Последовательность диапазонов может меняться также и при изменении режима на станциях (например, при работе в зимних и в летних условиях, при изменениях режима, характеристик топлива и т. д.). В этом случае производятся переключения только на коммутационном поле.

Наблюдение за регулировочными диапазонами и коммутационным полем должно находиться в ведении службы режимов электроэнергетической системы и не входит в функции диспетчера.

Диспетчер, имеющий в своем распоряжении РАН, должен привести его в соответствие с режимом системы.

Ключи с обозначениями генераторов (рис. 1) включаются, если включены генераторы.

Для станций, которые временно должны иметь фиксированную нагрузку (например, по условиям снабжения топливом), регулировочные диапазоны не включаются, а включается реостат, ползушка которого устанавливается по шкале на заданную мощность. Станции, которые не участвуют в экономическом распределении нагрузок (например, тэц с противодавлением), представлены в РАН только реостатами. Нагрузка этим станциям задается также перемещением ползушек реостатов.

В случае необходимости устанавливается максимальная и минимальная нагрузка любой из станций, участвующей в экономическом распределении нагрузок. Максимум ограничивается

просто отключением ряда верхних регулировочных диапазонов, для чего имеются соответствующие ключи с нумерацией и обозначением мощностей.

Для ограничения минимума отключается ряд нижних регулировочных диапазонов и вместо них вводится реостат с фиксированным положением ползушки.

Теперь остается задать режим частотной станции. Если частотная станция не участвует в экономическом распределении нагрузок, то она представлена в РАН выравнивающим реостатом, описанным выше. Kontakтами K_1 и K_2 задается средняя нагрузка станции.

Выбор средней нагрузки частотной станции определяется не только экономическими соображениями, но и необходимостью наличия диапазона регулирования в обе стороны. Так, например, в период роста нагрузки системы желательно иметь большой диапазон регулирования нагрузки вверх, а в часы спада нагрузки — вниз. В часы равной вероятности отклонений суммарной нагрузки системы вверх и вниз целесообразно иметь одинаковые диапазоны регулировки в обе стороны.

Установка контактов K_3 и K_4 определяет те отклонения нагрузки, которые должны восприниматься частотной станцией без передачи на другие станции системы. Следует учесть, что частые и быстрые изменения нагрузок понижают экономичность работы оборудования, особенно котлов. С другой стороны, невыгодно заставлять частотную станцию длительное время нести нагрузку, отличающуюся от оптимальной. Опытное исследование колебаний нагрузки в системе [Л. 1] показало, что средняя нагрузка меняется сравнительно медленно, но в системе имеются нерегулярные небольшие по величине и длительности отклонения в обе стороны от этой средней нагрузки. Очевидно, что контакты K_3 и K_4 должны быть установлены так, чтобы эти нерегулярные колебания воспринимались частотной станцией. Если ползушка выравнивающего реостата дойдет до одного из этих контактов, то значит изменилась средняя нагрузка системы. Тогда начнет действовать переключатель регулировочных диапазонов и отклонение средней нагрузки будет воспринято одной из станций системы.

Если частотная станция сама участвует в экономическом распределении нагрузок, то средняя нагрузка на выравнивающем реостате (контакты K_1 и K_2) вводится вместо отключаемых при этом минимальных диапазонов на равную мощность. Тогда эта станция будет воспринимать нерегулярные колебания нагрузки системы и поддерживать частоту, а ее средняя нагрузка будет меняться по указаниям РАН, т. е. будет экономически целесообразной.

Работа диспетчера электросистемы при наличии РАН. При наличии распределителя активных нагрузок диспетчер электроэнергетической системы освобождается от необходимости наблюдать за суммарной нагрузкой и за нагрузкой частотной станции. РАН непрерывно автоматически определяет, какова должна быть нагрузка стан-

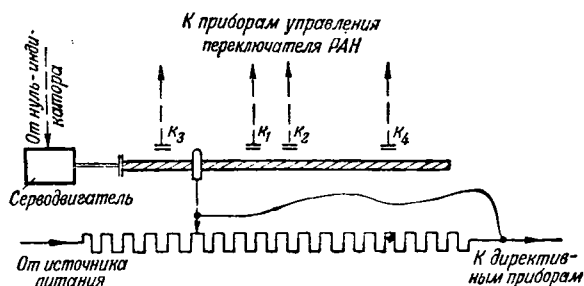


Рис. 3.

ций системы в соответствии с требованиями экономичности. Одновременно директивы РАН сравниваются с показаниями телеваттметров станций и в случае несоответствия появляется световой сигнал против номера станции и звуковой сигнал. Сигнал несоответствия появляется как при изменении нагрузки станции без указаний диспетчера, так и при изменении директив. Диспетчеру остается проверить, какова эта директива и фактическая нагрузка для данной станции, и отдать необходимые распоряжения.

На первом этапе внедрения РАН директивы РАН будут передаваться через диспетчера. В дальнейшем директива РАН может передаваться персоналу станций автоматически при помощи телеизмерительных устройств. В последнем случае показания приборов заменяют распоряжения диспетчера. Диспетчер вмешивается лишь, если директивы не выполняются.

На обязанности диспетчера остается только наблюдение за тем, чтобы схема включения РАН соответствовала заданному режиму системы. Если необходимо изменить режим, то на панели управления переставляются соответствующие ключи и ручки реостатов.

Так, если какая-либо станция, по мнению диспетчера, не должна или по каким-либо причинам не может выполнить указания РАН, то диспетчер имеет возможность:

а) перевести станцию на определенную нагрузку;

б) ограничить минимум или максимум нагрузки станции или и то и другое;

в) уменьшить или увеличить директивную нагрузку станции на определенную величину по сравнению с экономически выгодной, например, для создания регулируемого диапазона на экономичной, полностью загруженной станции.

Если станция в силу особых условий изменяет свою нагрузку произвольным образом, не выполняя ни директив РАН, ни жестко заданного диспетчерского графика, то такая станция может быть выведена из РАН с одновременным отключением ее из сумматора мощности системы, при этом ее нагрузка перестает влиять на распределение нагрузок в системе, и она как бы относится к нагрузке потребителей (отрицательного знака).

При нежелании диспетчера по каким-либо причинам передавать станции директивы, роль РАН ограничивается сигнализацией диспетчеру об экономическом распределении нагрузок.

Таким образом, распределитель активных нагрузок является весьма гибким устройством, которое совершенно не стесняет свободы действия диспетчера и в то же время позволяет непрерывно поддерживать экономичное распределение нагрузок и диапазон регулирования на частотной станции, что практически неосуществимо без такого прибора.

Регулирование частоты в электроэнергетической системе при наличии РАН. Установка на диспетчерском пункте электроэнергетической си-

стемы РАН и установка на некоторых станциях автоматических регуляторов частоты и мощности и на одной или нескольких из них, кроме того, — автоматического корректора электрического времени обеспечивает комплексное регулирование частоты, времени и нагрузок.

Рассмотрим случай, когда в системе имеется одна частотная станция (с астатической настройкой) и одна помогающая (со статической настройкой).

Если произойдет увеличение нагрузки системы, то последовательность работы комплекса устройств такова:

1. Если изменение меньше располагаемого диапазона регулирования частотной станции:

а) частотная станция увеличивает свою нагрузку, поддерживая астатически частоту; диспетчером установлены на РАН пределы допустимых отклонений нагрузки частотной станции, при которых РАН еще не работает;

б) если нагрузка частотной станции выйдет за эти пределы, то РАН дает директиву изменить нагрузку той станции, на которой это изменение является экономически выгодным;

в) получив директиву, персонал станции увеличивает нагрузку, при этом частотная станция снижает нагрузку до первоначального значения (в зоне установки контактов $K_1—K_2$).

2. Если изменение больше диапазона регулирования частотной станции, но меньше суммы диапазонов частотной и помогающей станций:

а) частотная станция увеличивает свою нагрузку до предела;

б) частота начинает снижаться, в связи с чем статический автоматический регулятор частоты на «помогающей» станции начнет увеличивать ее нагрузку, ограничивая отклонения частоты;

в) РАН дает директиву изменить нагрузку станций; по мере восстановления нормальной частоты «помогающая станция» будет сбрасывать нагрузку до первоначально заданного значения, а затем начнет сбрасывать нагрузку частотная станция также до первоначального значения.

Выполнение макета РАН в Лаборатории электросистем Энергетического института Академии наук СССР показало простоту и реализуемость подобного устройства. Первый опытный экземпляр РАН в настоящее время сооружается при участии лаборатории силами электроэнергетической системы.

Создание распределителя активных нагрузок является первым шагом на пути автоматизации распорядительных функций по управлению сложными энергетическими системами.

Литература

1. И. М. Маркович и С. А. Савалов. Экспериментальное определение параметров электрической системы, влияющих на процесс автоматического регулирования частоты и мощности. *Электричество*, № 8, 1948.

[7. 3. 1949]

Высокочастотные защиты ЦНИЭЛ МЭС

Доктор техн. наук, проф. Г. И. АТАБЕКОВ, инж. Е. Д. САПИР и проф. И. И. СОЛОВЬЕВ

Центральная научно-исследовательская электротехническая лаборатория МЭС

Одним из решающих факторов обеспечения устойчивости работы энергетических систем является быстродействующая защита линий электропередачи. Изысканиям и разработке соответствующих защит в течение длительного времени уделяется большое внимание как в Советском Союзе, так и

в зарубежных странах. Для линий малой длины (10 ÷ 20 км) задача наиболее удачно решается с помощью продольных дифференциальных токовых защит (с вспомогательными проводами). Для линий большей протяженности защиты выполняются с использованием токов высокой частоты, координирующих действие комплектов защиты, расположенных на разных концах линии.

Развитие высокочастотных защит за последнее время характеризуется широким использованием симметричных составляющих токов и направлений, которые обеспечивают значительное упрощение конструктивного исполнения комплектов защиты и повышение ее чувствительности. В СССР разрабатывались два типа таких защит: фильтровые направленные и дифференциально-фазные, использующие каналы высокой частоты. Разработка фильтровой направленной защиты, проведенная в Теплоэлектропроекте с 1941 по 1946 г., завершилась принятием заводом МЭП к серийному выпуску релейных комплектов типа ПЗ-161.

Разработка схем дифференциально-фазных защит в СССР была начата в 1939 г. В 1941 г. ХЭМЗ выпустил опытные комплекты дифференциально-фазной защиты типа КРЗ-151 [Л. 1], разработанные А. П. Плешко, но условия военного времени помешали завершить разработку защиты.

В 1944—1945 гг. защита КРЗ-151 была испытана в ЦНИЭЛ МЭС. Испытания выявили ряд существенных недостатков защиты, вследствие чего устанавливать ее в опытную эксплуатацию было признано нецелесообразным. В 1945 г. решением Технического отдела МЭС, по инициативе И. А. Сыромятникова, ЦНИЭЛ было поруче-

Основным видом защиты высоковольтных линий электропередачи в настоящее время является высокочастотная защита. Разработка совершенной схемы такой защиты составляет одну из важнейших задач современной техники релейной защиты. В ЦНИЭЛ МЭС разработаны две простые фильтровые высокочастотные защиты: дифференциально-фазная и безинерционная направленная. Обе защиты прошли эксплуатационную проверку на линии 110 кВ и линейные испытания опытами короткого замыкания в энергосистеме. В статье рассмотрены схемы и принципы защит и приведены основные результаты испытаний опытных комплектов.

но вести дальнейшие разработки новых типов высокочастотных защит.

Настоящая статья посвящается двум фильтровым высокочастотным защитам, разработанным в ЦНИЭЛ—МЭС. Одна из них — высокочастотная дифференциально-фазная, другая — безинерционная, направленная с высокоча-

стотной блокировкой. Дифференциально-фазная защита была выполнена в виде промышленного образца, а безинерционная — в виде лабораторного макета.

Разработанные защиты представляют интерес как с точки зрения применения новых принципов, так и с точки зрения особой простоты выполненных комплектов защиты, которую удалось получить благодаря применению этих принципов. В защитах устранен ряд существенных недостатков, присущих ранее известным схемам. Обе защиты ЦНИЭЛ в августе 1948 г. были включены в опытную эксплуатацию на линии 110 кВ. В марте 1949 г. в целях ускорения накопления опыта эксплуатации были проведены линейные испытания защит опытами короткого замыкания в энергосистеме¹. Опытная эксплуатация защит подтвердила выводы лабораторных испытаний о хороших их качествах. При всех случаях коротких замыканий во время опытной эксплуатации и при линейных испытаниях защиты действовали правильно.

Высокочастотная дифференциально-фазная защита. Разработка дифференциально-фазной защиты ведется в лаборатории Релейной защиты под руководством проф. И. И. Соловьева. Эта работа была начата инж. В. П. Пименовым (1945, начало 1946 г.); в 1946—1947 гг. проводилась инж. С. М. Рискинд. С 1947 г. разработка схемы и теоретический анализ защиты ведется инж. Е. Д. Сапир.

Принцип, положенный в основу высокочастотной дифференциально-фазной защиты, за-

¹ Линейные испытания проведены ЦНИЭЛ совместно с Мосэнерго.

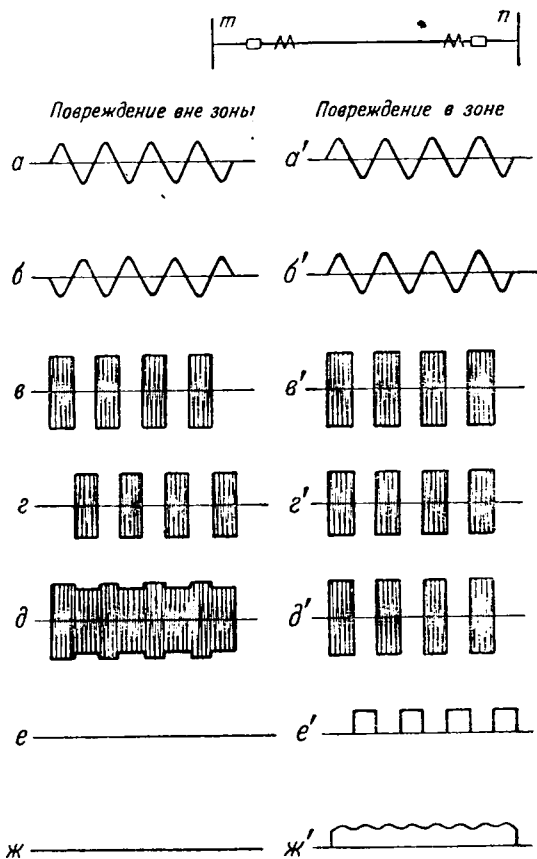


Рис. 2. Принцип действия дифференциально-фазной защиты.

а—э. д. с. на выходе фильтра $\dot{I}_1 + k\dot{I}_0$ конца m (местного); б—э. д. с. на выходе фильтра $\dot{I}_1 + k\dot{I}_0$ конца n (удаленного); в—высокочастотные сигналы с конца m (местного); г—высокочастотные сигналы с конца n (удаленного); д—высокочастотные сигналы на входе приемника; е—анодный ток выходной лампы приемника (ЛП); ж—ток в отключающем реле (РО).

вреждений в схеме предусмотрен фильтр тока отрицательной последовательности 2, к выходным зажимам которого подключены реле А1_п и А2_п, осуществляющие дополнительный пуск защиты при двухфазных коротких замыканиях.

В фильтре $\dot{I}_1 + k\dot{I}_0$ принято $k > 0$, и он включен таким образом, что реагирует на составляющую положительной последовательности фазы А. Коэффициент k должен выбираться так, чтобы при несимметричных повреждениях в зоне действия защиты, сопровождаемых замыканиями на землю, обеспечивалось на каждом из концов линии условие [Л. 5]

$$|k\dot{I}_0| > |\dot{I}_1|. \quad (1)$$

Расчетным случаем при этом является двухфазное к. з. на землю на одном из концов линии. Сказанное пояснено векторными диаграммами (рис. 3), построенными для наиболее неблагоприятного случая к. з. в зоне действия защиты, когда векторы токов положительной последовательности фазы А и тока нулевой последовательности сдвинуты на 180°, т. е. сравнение составляющих токов разных фазовых по-

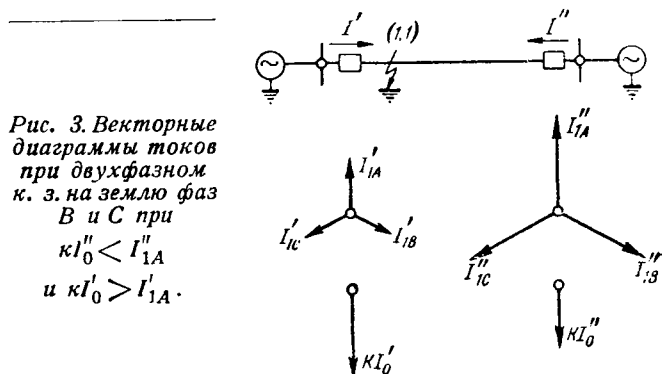


Рис. 3. Векторные диаграммы токов при двухфазном к. з. на землю фаз В и С при $kI_0'' < I_{1A}''$ и $kI_0' > I_{1A}'$.

следовательностей по концам линии подобно условию внешнего к. з.

Векторные диаграммы рис. 3 построены для теоретического случая совпадения по фазе э. д. с. с обеих сторон от места повреждения и равенства углов полных сопротивлений в схемах фазовых последовательностей. Из рис. 3 следует, что при выполнении условия (1) можно обеспечить близкое совпадение фаз токов $\dot{I}_1 + k\dot{I}_0$ по концам линии и правильное действие защиты при различных соотношениях токов \dot{I}_0 и \dot{I}_1 .

При двухфазном замыкании на землю отношение токов нулевой и положительной последовательностей равно [Л. 5]:

$$\left| \frac{\dot{I}_0^{(1,1)}}{\dot{I}_1^{(1,1)}} \right| = \left| \frac{\alpha_0 Z_2}{\alpha_1 (Z_2 + Z_0)} \right|. \quad (2)$$

То же отношение при однофазном к. з. равно:

$$\left| \frac{\dot{I}_0^{(1)}}{\dot{I}_1^{(1)}} \right| = \left| \frac{\alpha_0}{\alpha_1} \right|; \quad (3)$$

здесь α_1 и α_0 —коэффициенты распределения для токов положительной и нулевой последовательностей;

Z_1 и Z_2 —результатирующие сопротивления отрицательной и нулевой последовательностей системы, приведенные к месту повреждения.

Из (2) и (3) следует, что отношение $\left| \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_1} \right|$ при однофазном замыкании на землю в $\left| \frac{Z_2 + Z_0}{Z_2} \right|$ раз больше, чем при двухфазном. Поэтому, если условие (1) будет выполнено для случая двухфазного к. з. на землю, то оно в еще большей мере будет выполнено для случая однофазного замыкания. Таким образом, при всех повреждениях, сопровождаемых замыканиями на землю, будут преимущественно сравниваться фазы токов нулевой последовательности, которые обеспечивают правильные условия для срабатывания защиты.

Для случая одностороннего питания и отсутствия заземленных нулевых точек на приемном конце при повреждениях на землю в зоне действия защиты могут иметь место неблагоприятные фазовые соотношения между токами повреждения питающего конца и токами положи-

тельной последовательности нагрузки приемного конца. Это, однако, не оказывает влияния на работу защиты, так как пусковые реле настраиваются таким образом, что на приемном конце они при этом не приходят в действие. В этом случае передатчик приемного конца не запускается, благодаря чему фаза токов приемного конца на работу защиты не оказывает влияния и защита действует только со стороны питающего конца.

Из условия (1) также следует, что при двухстороннем питании для правильной работы защиты при замыканиях на землю требуется наличие в сети заземленных нулевых точек с обеих сторон линии.

2. Пусковые реле. Пуск защиты осуществляется четырьмя реле типа ЭТ, подключенными попарно к фильтрам 1 и 2. Реле А1 приводят в действие передатчик. Реле А2 подготавливают цепи отключения защиты. Реле А1 должны быть более чувствительны, чем реле А2, для того, чтобы при внешних коротких замыканиях, сопровождаемых действием реле А2, обеспечивался надежный пуск приемопередатчиков с обоих концов линии.

Токи трогания пусковых реле, включенных на фильтр 1, отстраиваются от максимальных токов нагрузки I_n . При этом ток трогания реле А1, пуска передатчика, можно принять равным $1,2I_n$, а реле А2, цепи отключения, — $1,5I_n$. При проверке чувствительности к трехфазным к. з. следует учитывать, что защита допускает работу в режиме каскадного отключения повреждения, поэтому проверку можно производить по этому режиму, что в большинстве случаев несколько повышает коэффициент запаса для трогания защиты. При необходимости для повышения чувствительности защиты к трехфазным к. з. можно принять за расчетный ток I_n — максимальный ток нагрузки нормального режима, допуская непродолжительную работу передатчиков на время аварийной перегрузки линии. Необходимая чувствительность пусковых реле фильтра 1 к несимметричным к. з., сопровождаемым замыканием на землю, устанавливается соответствующим подбором коэффициента k .

Ток трогания пусковых реле фильтра 2 для линий, которые могут работать только в режиме двухстороннего питания, определяется практически чувствительностью схемы фильтр-реле и для выполненного комплекта защиты может регулироваться от тока отрицательной последовательности $1,5a$ и выше. Для линий, которые могут работать в режиме одностороннего питания, ток трогания реле фильтра 2 желательно отстроить от тока отрицательной последовательности нагрузки приемного конца $I_{2\text{наг}}$ при двухфазном к. з. в зоне действия защиты, чтобы эти реле на приемном конце не приходили в действие.

Принимая рекомендуемую среднюю величину для полного сопротивления отрицательной последовательности нагрузки в относительных единицах $z_{2*} = 0,5$ (считаем эту величину отнесен-

ной к полной рабочей мощности нагрузки), получаем выражение для тока отрицательной последовательности нагрузки приемного конца в относительных единицах I_{2*} :

$$I_{2*} = \frac{U_{2*}}{z_{2*}} = \frac{0,5}{0,5} = 1. \quad (4)$$

Отсюда, учитывая, что за базисную мощность принята мощность нагрузки, для случая двухфазного к. з. получаем:

$$I_{2\text{наг}} = I_{\text{наг}}. \quad (5)$$

В выражении (4) U_{2*} — максимальное значение напряжения отрицательной последовательности в относительных единицах в месте двухфазного к. з.

Можно показать, что при однофазном или двухфазном к. з. на землю I_{2*} меньше, чем для случая двухфазного к. з.; следовательно, выражение (4) является расчетным. С учетом условий (4) и (5) защита все же остается достаточно чувствительной к двухфазным к. з., так как величина тока нагрузки линии при режиме одностороннего питания в большинстве случаев невелика.

3. Высокочастотный приемопередатчик. Работа приемопередатчика поясняется упрощенной схемой рис. 4. В защите используется стандартный приемопередатчик, который дополняется двойной двухэлектродной лампой Л8 с незначительными изменениями монтажа. Напряжение манипуляции с органа управления передатчиком высокочастотного поста подается на ламповый выпрямитель Л8. Одна половина лампы Л8 нагружена сопротивлением R_1 , включенным в цепь экранный сетки лампы задающего генератора Л1. На экранную сетку лампы Л1 постоянно подано небольшое напряжение положительного знака, при котором обеспечивается отдача передатчиком полного тока высокой частоты. При подаче на лампу Л8 напряжения манипуляции на сопротивлении R_1 появляются полуволны напряжения с отрицательным знаком на экранной сетке лампы Л1, которые запирают задающий генератор. Передатчик при этом генерирует ток высокой частоты только во время подвода к лампе Л8 полуволн напряжения манипуляции противоположного знака по отношению к предыдущему (рис. 4, а и б). Сопротивление R_3 и вторая половина лампы Л8 служат для выравнивания нагрузки на орган управления передатчиком. Первая лампа приемника Л6 осуществляет выпрямление принимаемых высокочастотных сигналов. Выходная лампа приемника Л7 имеет малое постоянное смещение и в ее анодной цепи течет постоянный ток. При приеме высокочастотных сигналов на нагрузку лампы Л6 появляется напряжение, которое запирает лампу Л7. При внешнем к. з., когда высокочастотный сигнал поступает на вход приемника непрерывно, лампа Л7 заперта. При к. з. в зоне защиты, когда высокочастотный сигнал на входе приемника имеет форму импульсов, напряжение на нагрузке лампы Л6 имеет форму, изо-

тельной последовательности нагрузки приемного конца. Это, однако, не оказывает влияния на работу защиты, так как пусковые реле настраиваются таким образом, что на приемном конце они при этом не приходят в действие. В этом случае передатчик приемного конца не запускается, благодаря чему фаза токов приемного конца на работу защиты не оказывает влияния и защита действует только со стороны питающего конца.

Из условия (1) также следует, что при двухстороннем питании для правильной работы защиты при замыканиях на землю требуется наличие в сети заземленных нулевых точек с обеих сторон линии.

2. Пусковые реле. Пуск защиты осуществляется четырьмя реле типа ЭТ, подключенными попарно к фильтрам 1 и 2. Реле А1 приводят в действие передатчик. Реле А2 подготавливают цепи отключения защиты. Реле А1 должны быть более чувствительны, чем реле А2, для того, чтобы при внешних коротких замыканиях, сопровождаемых действием реле А2, обеспечивался надежный пуск приемопередатчиков с обоих концов линии.

Токи трогания пусковых реле, включенных на фильтр 1, отстраиваются от максимальных токов нагрузки I_n . При этом ток трогания реле А1, пуска передатчика, можно принять равным $1,2I_n$, а реле А2, цепи отключения, — $1,5I_n$. При проверке чувствительности к трехфазным к. з. следует учитывать, что защита допускает работу в режиме каскадного отключения повреждения, поэтому проверку можно производить по этому режиму, что в большинстве случаев несколько повышает коэффициент запаса для трогания защиты. При необходимости для повышения чувствительности защиты к трехфазным к. з. можно принять за расчетный ток I_n — максимальный ток нагрузки нормального режима, допуская непродолжительную работу передатчиков на время аварийной перегрузки линии. Необходимая чувствительность пусковых реле фильтра 1 к несимметричным к. з., сопровождаемым замыканием на землю, устанавливается соответствующим подбором коэффициента k .

Ток трогания пусковых реле фильтра 2 для линий, которые могут работать только в режиме двухстороннего питания, определяется практически чувствительностью схемы фильтр-реле и для выполненного комплекта защиты может регулироваться от тока отрицательной последовательности $1,5a$ и выше. Для линий, которые могут работать в режиме одностороннего питания, ток трогания реле фильтра 2 желательно отстроить от тока отрицательной последовательности нагрузки приемного конца $I_{2\text{наг}}$ при двухфазном к. з. в зоне действия защиты, чтобы эти реле на приемном конце не приходили в действие.

Принимая рекомендуемую среднюю величину для полного сопротивления отрицательной последовательности нагрузки в относительных единицах $z_{2*} = 0,5$ (считаем эту величину отнесен-

ной к полной рабочей мощности нагрузки), получаем выражение для тока отрицательной последовательности нагрузки приемного конца в относительных единицах I_{2*} :

$$I_{2*} = \frac{U_{2*}}{z_{2*}} = \frac{0,5}{0,5} = 1. \quad (4)$$

Отсюда, учитывая, что за базисную мощность принята мощность нагрузки, для случая двухфазного к. з. получаем:

$$I_{2\text{наг}} = I_{\text{наг}}. \quad (5)$$

В выражении (4) U_{2*} — максимальное значение напряжения отрицательной последовательности в относительных единицах в месте двухфазного к. з.

Можно показать, что при однофазном или двухфазном к. з. на землю I_{2*} меньше, чем для случая двухфазного к. з.; следовательно, выражение (4) является расчетным. С учетом условий (4) и (5) защита все же остается достаточно чувствительной к двухфазным к. з., так как величина тока нагрузки линии при режиме одностороннего питания в большинстве случаев невелика.

3. Высокочастотный приемопередатчик. Работа приемопередатчика поясняется упрощенной схемой рис. 4. В защите используется стандартный приемопередатчик, который дополняется двойной двухэлектродной лампой Л8 с незначительными изменениями монтажа. Напряжение манипуляции с органа управления передатчиком высокочастотного поста подается на ламповый выпрямитель Л8. Одна половина лампы Л8 нагружена сопротивлением R_1 , включенным в цепь экранной сетки лампы задающего генератора Л1. На экранную сетку лампы Л1 постоянно подано небольшое напряжение положительного знака, при котором обеспечивается отдача передатчиком полного тока высокой частоты. При подаче на лампу Л8 напряжения манипуляции на сопротивлении R_1 появляются полуволны напряжения с отрицательным знаком на экранной сетке лампы Л1, которые запирают задающий генератор. Передатчик при этом генерирует ток высокой частоты только во время подвода к лампе Л8 полуволн напряжения манипуляции противоположного знака по отношению к предыдущему (рис. 4, а и б). Сопротивление R_3 и вторая половина лампы Л8 служат для выравнивания нагрузки на орган управления передатчиком. Первая лампа приемника Л6 осуществляет выпрямление принимаемых высокочастотных сигналов. Выходная лампа приемника Л7 имеет малое постоянное смещение и в ее анодной цепи течет постоянный ток. При приеме высокочастотных сигналов на нагрузку лампы Л6 появляются напряжения, которое запирает лампу Л7. При внешнем к. з., когда высокочастотный сигнал поступает на вход приемника непрерывно, лампа Л7 заперта. При к. з. в зоне защиты, когда высокочастотный сигнал на входе приемника имеет форму импульсов, напряжение на нагрузке лампы Л6 имеет форму, изо-

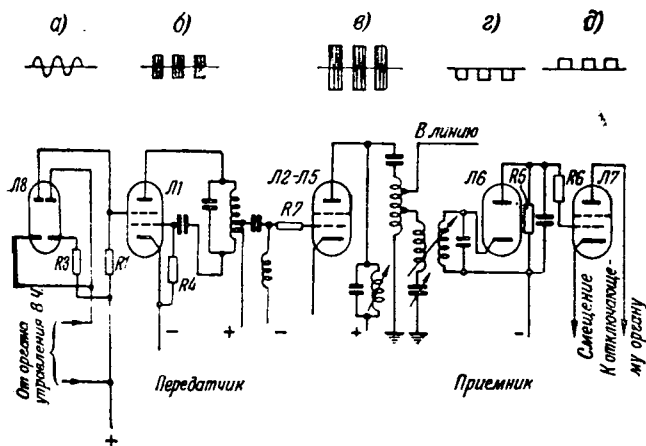


Рис. 4. Упрощенная принципиальная схема приемопередатчика дифференциально-фазной защиты.

а — напряжение манипуляции; б — ток на выходе задающего генератора; в — ток на выходе передатчика; г — напряжение на нагрузке детектора; д — ток в анодной цепи выходной лампы приемника.

браженную на рис. 4,г. В промежутках, когда это напряжение исчезает, лампа Л7 отпирается. При этом в ее анодной цепи протекает ток, имеющий форму прямоугольных импульсов (рис. 4,д), ширина которых соответствует разности фаз, сравниваемых по концам линии токов.

4. Отключающий орган. Отключающий орган состоит из вспомогательного устройства 5 и отключающего реле РО. Вспомогательное устройство 5 включено в анодную цепь выходной лампы Л7 приемника.

Величина тока в реле РО зависит от угла сдвига фаз между токами по концам защищаемой линии. Эта зависимость дается фазной характеристикой защиты, показанной на рис. 5. При построении фазных характеристик условные положительные направления на обоих концах защищаемой линии приняты от шин в сторону линии. Характеристики рис. 5 показывают зоны, при которых происходят блокировка и отключение. Зона блокировки принимается равной $40 \div 50^\circ$, что обеспечивает правильную манипуляцию передатчиков по фазе и надежную блокировку при сквозных коротких замыканиях. Регулировка зоны блокировки производится вспомогательным устройством 5.

Расчеты и опыты к. з. на линии показывают, что при принятой зоне блокировки защита гораздо менее чувствительна к небалансам при сквозных к. з., чем самые грубые дифференциально-токовые защиты, например, дифференциальные защиты шин 110 и 220 кв.

5. Вспомогательные элементы. Вспомогательным элементам относятся реле К2, кодовое реле КР, дроссель Д и блинкер ЭС1.

Реле КР замыкает цепь отключающего органа с задержкой в один период. Такая задержка достаточна для надежного пуска высокочастотных передатчиков на обоих концах линии к моменту включения отключающего органа. При отключении защиты на линию с разрядниками последовательно с катушкой реле КР включается дроссель Д для замедления защиты. Шунтовой

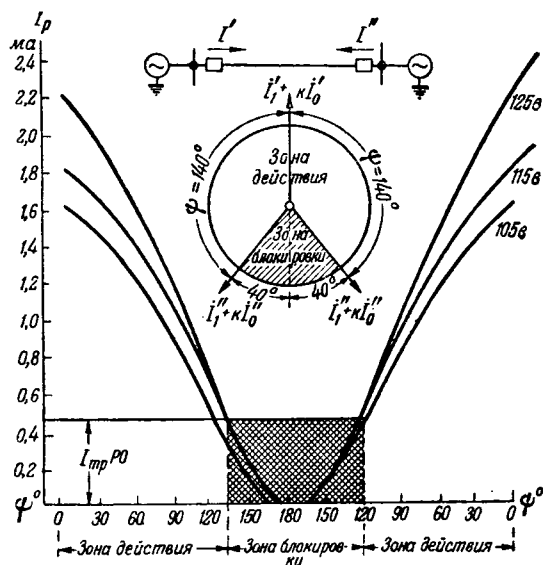


Рис. 5. Фазные характеристики дифференциально-фазной защиты при различном напряжении постоянного тока.

блнкер ЭС1 установлен для учета блокировки защиты при внешних коротких замыканиях.

Выводы. 1. Дифференциально-фазная защита ЦНИЭЛ обладает значительными преимуществами как по простоте схемы, так и по своим параметрам перед высокочастотными дифференциально-фазными защитами, известными из иностранной литературы [Л. 2].

2. Защита обеспечивает правильную работу при всех видах к. з. на линиях.

3. Защита обладает высокой чувствительностью к несимметричным к. з. и в большинстве случаев достаточной чувствительностью при трехфазных к. з.

4. Дифференциально-фазный принцип обеспечивает правильную защиту линии при ее работе двумя фазами, например, при пофазном АПВ, чего не обеспечивают все другие известные типы фильтровых высокочастотных защит.

5. В защите использованы простейшие типы реле.

6. Применен стандартный приемопередатчик направленных защит с высокочастотной блокировкой.

7. В защите отсутствуют цепи напряжения.

8. По принципу своего действия защита не реагирует на качания.

9. Область применения защиты — линии 110 и 220 кв с тросами или разрядниками с двусторонним питанием, на которых токи трехфазного к. з. превышают максимальные токи нагрузки нормального длительного режима. Благодаря тому, что по принципу действия защита допускает работу в режиме каскадного отключения повреждения, проверку чувствительности защиты при трехфазных к. з. можно производить по этому режиму действия защиты.

Безинерционная направленная защита. Защита предложена Г. И. Атабековым, В. И. Ивановым и Я. М. Смородинским. Разработка защиты ведется инж. А. М. Рывкиным под руководством проф. Г. И. Атабекова.

Эта защита реагирует на направление мощности отрицательной последовательности, что предотвращает возможность неправильного действия защиты при качаниях и перегорании предохранителей в цепях напряжения. Защита охватывает все виды несимметричных к. з., причем для отстройки от работы разрядников защита должна быть замедлена. Для действия защиты при отсутствии замедления необходимо наличие несимметричного повреждения длительностью не менее $0,5 \div 1$ периода.

Данные эксплуатации Мосэнергo [Л. 3] и данные по энергосистемам Советского Союза за последние четыре года, по которым имеется статистический материал, показывают, что на линиях 110 и 220 кВ, покрытых тросами, грозовые трехфазные к. з. не зарегистрированы. В связи с этим можно полагать, что безинерционная направленная защита на линиях, покрытых тросами, будет действовать при всех видах к. з., за исключением случая включения на трехполюсную закоротку, при котором, как показали испытания опытами к. з. на линии, защита не успевает действовать. Испытания показали, что при включении масляного выключателя 110 кВ с групповым приводом на трехполюсную закоротку (испытано на двух выключателях) длительность несимметричного режима не превышает $0,2 \div 0,25$ периода. Существующее мнение о том, что при включении на трехполюсную закоротку несимметричный режим длится $1 \div 2$ периода, повидимому, базировалось, главным образом, на испытаниях, проведенных низким напряжением. В реальных условиях разновременность замыкания контактов выключателя при включении на трехполюсную закоротку не играет существенной роли, так как к. з. наступает вследствие пробоя воздушных промежутков на контактах выключателя до их металлического замыкания, в то время как при испытании низким напряжением цепь образуется только в момент касания контактов выключателя.

Схема и принцип действия. Схема защиты представлена на рис. 6. Фазочувствительная схема 3 вместе с рабочей обмоткой PR_p поляризованного реле, приключенным к его выходу, составляют орган направления. Тормозная обмотка PR_T поляризованного реле включена в анодную цепь приемника. При наличии тока в рабочей обмотке и отсутствии тока в тормозной реле действует на отключение, причем для разгрузки его контактов служит реле KI .

Фазочувствительная схема состоит из дросселя D , трансформаторов $T1$, $T2$, $T3$, двух схем двухполупериодного выпрямления на селеновых выпрямителях и двух нагрузочных сопротивлений.

Напряжение отрицательной последовательности с выхода фильтра 1 подводится к делителю напряжения — дросселю D . Напряжение с выхода фильтра токов 2, пропорциональное току отрицательной последовательности, подается на трансформатор $T3$, расположенный в перемычке моста, образованного трансформаторами $T1$ и $T2$

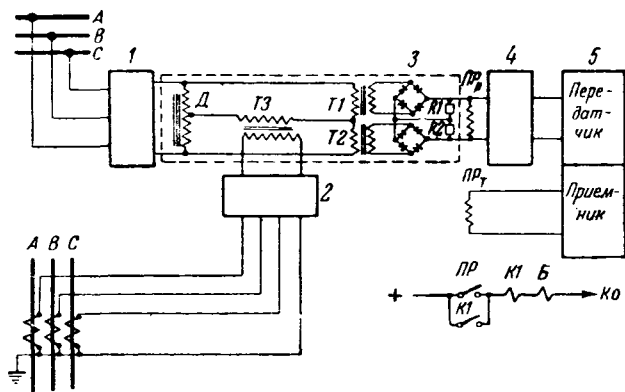


Рис. 6. Принципиальная схема безинерционной направленной защиты.

1—фильтр напряжения отрицательной последовательности; 2—фильтр тока отрицательной последовательности; 3—фазочувствительная схема; 4—орган управления пуском передатчика высокочастотного поста; 5—высокочастотный приемопередатчик; PR_p — рабочая катушка поляризованного реле PR ; PR_T — тормозная катушка поляризованного реле PR ; KI — вспомогательное реле; Б — блнкер.

и плечами дросселя D . Напряжения вторичных обмоток трансформаторов $T1$ и $T2$ выпрямляются и подаются на сопротивления $R1$ и $R2$, так что напряжение на выходе фазочувствительной схемы равно разности падений напряжений в этих сопротивлениях. На выходе фазочувствительной схемы включены рабочая обмотка PR_p поляризованного реле PR и ламповый орган управления пуском передатчика высокочастотного поста. Благодаря наличию лампы в органе управления передатчиком последний пускается безинерционно.

Если на мост действует только одно из напряжений (либо напряжение выхода фильтра токов, либо напряжение выхода фильтра напряжений), то во вторичных обмотках трансформаторов $T1$ и $T2$ наводятся равные по величине э. д. с., и напряжение на выходе фазочувствительной схемы равно нулю. Если же оба фильтра действуют одновременно, то на выходе фазочувствительной схемы появляется напряжение, полярность которого зависит от угла сдвига между напряжениями на выходе фильтров.

Рабочая обмотка PR_p поляризованного реле PR и орган управления пуском передатчика включены таким образом, что пуск передатчика и срабатывание реле PR происходят при противоположных полярностях напряжения выхода фазочувствительной схемы. Фильтры токов и напряжения отрицательной последовательности включены так, что при к. з. в зоне действия защиты полярность напряжения на выходе фазочувствительной схемы такова, что реле PR срабатывает, так как передатчики на обоих концах линии бездействуют и в тормозных обмотках PR_T реле PR ток отсутствует. При внешнем к. з. на конце линии, ближайшем к месту к. з. (где мощность короткого замыкания направлена к линиям), полярность на выходе фазочувствительной схемы противоположна предыдущему случаю, что вызывает запуск передатчика и соответственно блокировку защиты.

Принцип действия фазочувствительной схемы. На рис. 7,а дана принципиальная схема

замещения цепей переменного тока фазочувствительной схемы. Токи I_1 и I_{II} , протекающие через первичные обмотки трансформаторов $T1$ и $T2$, определяются выражениями

$$I_1 = \frac{\dot{E}_1}{2Z_1} - \frac{\dot{E}_{II}}{Z_1 + Z_2 + 2Z_3}, \quad (6)$$

$$I_{II} = \frac{\dot{E}_1}{2Z_1} + \frac{\dot{E}_{II}}{Z_1 + Z_2 + 2Z_3}. \quad (7)$$

Пренебрегая рассеянием трансформаторов $T1$ и $T2$ и их активными сопротивлениями, получаем (при идентичности трансформаторов) $Z_1 = Z_2 \approx jx_m$, где x_m — реактивное сопротивление взаимной индукции обмоток трансформатора. Полное сопротивление Z_3 выражений (6) и (7) мало по сравнению с x_m и поэтому им можно пренебречь. В соответствии с этим напряжения \dot{U}_1 и \dot{U}_{II} (рис. 7, б) на вторичной стороне трансформаторов $T1$ и $T2$

$$\dot{U}_1 = I_1 \cdot jx_m = \frac{\dot{E}_1}{2} - \frac{\dot{E}_{II}}{2}; \quad (8)$$

$$\dot{U}_{II} = I_{II} \cdot jx_m = \frac{\dot{E}_1}{2} + \frac{\dot{E}_{II}}{2}. \quad (9)$$

Модули напряжения U_1 и U_{II} :

$$U_1 = \frac{1}{2} \sqrt{E_1^2 + E_{II}^2 - 2E_1E_{II}\cos\alpha}; \quad (10)$$

$$U_{II} = \sqrt{\frac{1}{2}E_1^2 + E_{II}^2 + 2E_1E_{II}\cos\alpha}, \quad (11)$$

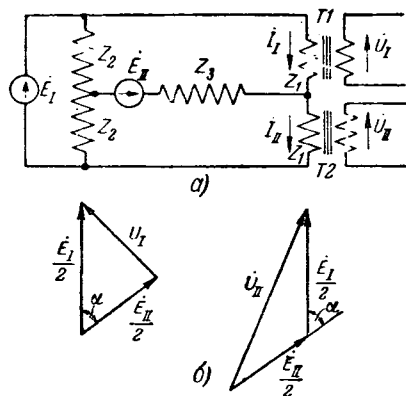
где α — сдвиг фаз между \dot{E}_1 и \dot{E}_{II} . Легко видеть, что знак разности модулей U_1 и U_{II} зависит от фазового сдвига α : $U_{II} - U_1 > 0$ при $\cos\alpha > 0$, т. е. при $90^\circ > \alpha > 270^\circ$; $U_{II} - U_1 < 0$ при $\cos\alpha < 0$, т. е. при $90^\circ < \alpha < 270^\circ$.

Можно показать, что величина $U_{II} - U_1$ с некоторым приближением пропорциональна $\cos\alpha$ [Л. 4]. Как видно из схемы рис. 6, напряжение U_p на выходе фазочувствительной схемы, пропорциональное $U_{II} - U_1$, получается благодаря двухполупериодному выпрямлению напряжений \dot{U}_1 и \dot{U}_{II} .

При несимметричном к. з. и условном положительном направлении токов от шин в сторону линии ток отрицательной последовательности I_2 опережает напряжение отрицательной последовательности \dot{U}_2 примерно на 110° при к. з. в зоне действия защиты и отстает на 70° при к. з. в зоне действия защиты на том конце линии, где мощность к. з. направлена к шинам. Подвод жёв и напряжений к фильтрам отрицательной последовательности выполнен таким образом, что угол α между \dot{E}_1 и \dot{E}_{II} близок к нулю при к. з. в зоне действия защиты и близок к 180° при направлении мощности к. з. к шинам.

Учитывая, что в схеме (рис. 7, а) можно принять $\dot{E}_1 = k_1 \dot{U}_2$, а $\dot{E}_{II} = k_2 \dot{I}_2$, где k_1 и k_2 — коэффициенты пропорциональности и учиты-

Рис. 7. Схема замещения (а) и векторные диаграммы (б) фазочувствительной схемы безинерционной направленной защиты.



вая также (8) и (9) для случая короткого замыкания в зоне действия защиты, когда \dot{E}_1 и \dot{E}_{II} примерно совпадают по фазе, получаем выражения для U_1 и U_{II} :

$$U_1 = \left| \frac{k_1 U_2}{2} - \frac{k_2 I_2}{2} \right|; \quad (12)$$

$$U_{II} = \frac{k_1 U_2}{2} + \frac{k_2 I_2}{2}. \quad (13)$$

В (12) предусмотрен знак абсолютной величины потому, что разность $\frac{k_1 U_2}{2} - \frac{k_2 I_2}{2}$ может быть как положительна, так и отрицательна. При положительном знаке этой разности

$$U_p = U_{II} - U_1 = k_2 I_2. \quad (14)$$

При отрицательном знаке разности

$$U_p = U_{II} - U_1 = k_1 U_2. \quad (15)$$

Зависимость U_p от тока I_2 при постоянных значениях U_2 и при $\alpha = 0$ ($\varphi_3 = -110^\circ$) дана на рис. 8. Начальные участки кривых $U_p = f(I_2)$, где U_p возрастает с увеличением I_2 , соответствуют условию $k_1 U_2 > k_2 I_2$. Начиная с тока I_2 , при котором $k_1 U_2 = k_2 I_2$, величина U_p теоретически, в соответствии с выражением (15), должна при постоянном U_2 сохранять неизменную величину. Некоторая зависимость от тока, существующая в экспериментально снятых кривых рис. 8, объясняется нелинейностью электрической схемы.

Фазовая характеристика защиты в виде зависимости напряжения на выходе фазочувствительной схемы от угла сдвига между напряжением и током отрицательной последовательности на входах фильтров при $I_2 = 2$ а и $U_2 = 10$ в приведена на рис. 9. Зная напряжение трогания поляризованного реле PP , равное 3 в, и напряжение запуска поста, равное 1 в, по кривой рис. 9 можно определить для случая $I_2 = 2$ а и $U_2 = 10$ в зону срабатывания защиты ($\varphi_2 = -60^\circ \div -170^\circ$) и зону, при которой происходит блокировка защиты ($\varphi_2 = -10^\circ \div +140^\circ$). При других значениях I_2 и U_2 зона срабатывания защиты и пуска передатчика высокочастотного поста незначительно отличается от соответствующих зон, показанных на рис. 9.

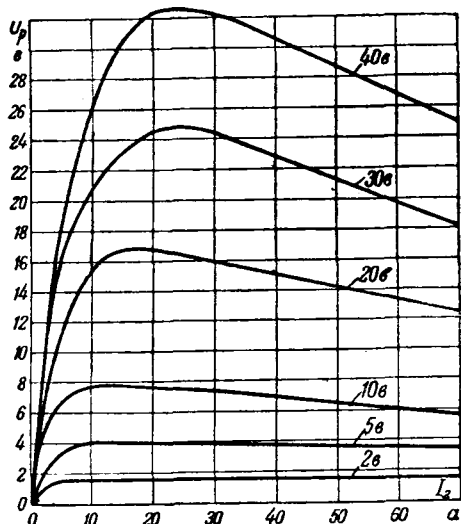


Рис. 8. Характеристики чувствительности безинерционной направленной защиты.

$U_p = f(I_2)$ при $\varphi_2 = -110^\circ$ и постоянном U_2 .

Выводы. 1. Защита имеет наименьшее число подвижных элементов из всех известных высокочастотных защит. Пусковой орган и орган направления совмещены в одном устройстве.

2. По принципу своего действия защита не реагирует на качания, перегрузку и перегорание предохранителей.

3. Безинерционность пуска высокочастотного передатчика повышает надежность блокировки защиты при внешних коротких замыканиях.

4. Защита имеет малое потребление в цепях тока и напряжения.

5. В защите используется приемопередатчик стандартного типа.

6. Область применения — линии 110 кВ и выше для защиты от несимметричных коротких замыканий. Можно предполагать, что на линиях с тросами защита будет охватывать и трехфазные повреждения, за исключением случая включения линии на трехполусную закоротку².

Закключение. За последние годы в Советском Союзе достигнуты значительные успехи в области разработки простых высокочастотных защит линий электропередачи. При большом росте энергетической мощности СССР от быстродействующей и надежной высокочастотной защиты в значительной мере зависит надежность работы энергосистемы, в связи с чем Техническим отделом МЭС уделяется большое внимание вопросам разработки этих защит.

Рассмотренные высокочастотные защиты ЦНИЭЛ МЭС являются наиболее простыми из

² На случай включения на закоротку может быть предусмотрено устройство, мгновенно действующее на отключение через посредство реле положения или ключа управления.

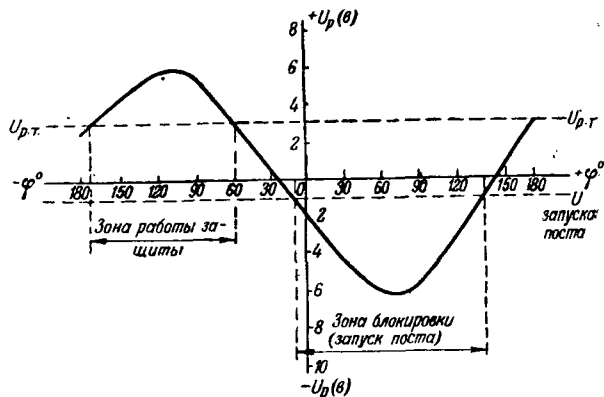


Рис. 9. Угловая характеристика безинерционной защиты.

$U_p = f(\varphi_2)$ при $I_2 = 2$ а и $U_2 = 10$ в.

всех известных высокочастотных защит линий электропередачи. По простоте и по своим параметрам они в значительной мере превосходят высокочастотные защиты иностранных фирм, использующих фильтры симметричных составляющих токов и напряжений. Принципы, положенные в основу дифференциально-фазной и безинерционной направленной защиты, наиболее удачно решают вопрос упрощения высокочастотных защит и, следовательно, повышения их надежности. В связи с этим целесообразна дальнейшая работа по их развитию и усовершенствованию. В частности, для длинных и сильно нагруженных линий, работающих с пофазным АПВ, целесообразно рассмотреть совмещение обоих принципов в одной защите.

Простота и положительный опыт эксплуатации, а также положительные результаты испытания защит опытами к. з. на линии 110 кВ позволяют рассчитывать, что они найдут широкое применение в энергосистемах Советского Союза.

Приспособление высокочастотных передатчиков, разработанных лабораторией высокочастотной связи ЦНИЭЛ применительно к этим защита, выполнено по предложениям Г. В. Микуцкого. В испытаниях и конструктивном исполнении защит принимали участие Г. Г. Якубсон и В. В. Таранчев.

Литература

1. А. П. Плешко. Новые системы защит. ВЭП, № 9, 1940.
2. Г. И. Атабеков и Г. В. Микуцкий. Дифференциально-фазные высокочастотные защиты (обзор). А и Т, № 6, 1947.
3. Н. А. Юриков. Грозоупорность линий электропередачи 220 и 110 кВ ВЭС Мосэнерго. Технико-информационные материалы ВЭС Мосэнерго, № 21, 1948.
4. Ф. Е. Темников и Р. Р. Харченко. Электрические измерения неэлектрических величин. Госэнергоиздат, 1948.
5. Г. И. Атабеков. Комбинированные фильтры токов. Электрические станции, № 9, 1946.

[11. 5. 1949]



Компаундирование мощных синхронных генераторов с электромагнитным корректором напряжения

Кандидат техн. наук В. Л. ИНОСОВ и кандидат техн. наук Л. В. ЦУКЕРНИК

Институт электротехники Академии наук УССР

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин осуществляется в настоящее время электромеханическими или электронно-ионными регуляторами разнообразных типов. Электромеханические регуляторы конструктивно сложны, имеют зону нечувствительности, требуют коммутации цепей постоянного тока, что утяжеляет условия работы контактов.

Электронно-ионные регуляторы также обладают рядом недостатков в виде сложности схемы, наличия накаливаемых электронных ламп, тиратронов, необходимости питания от постороннего источника и отсутствия питания при коротком замыкании генератора.

Предлагаемая схема автоматического регулирования напряжения синхронных машин в большой мере свободна от этих недостатков. Работа ее основана на следующих принципах.

1. Поддержание напряжения генератора осуществляется путем ввода в цепь возбуждения дополнительной энергии от нормальных измерительных трансформаторов тока и напряжения, установленных на генераторе, а не изменением сопротивления цепей возбуждения.

2. Компаундирование от тока нагрузки генератора обеспечивает частичную подпитку возбуждения возбудителя при изменениях нагрузки вплоть до короткого замыкания генератора, при котором компаундированием обеспечивается форсировка возбуждения до «потолка».

3. Автоматический регулятор, называемый в дальнейшем электромагнитным корректором, регулирует дополнительную подпитку возбуждения возбудителя от трансформатора напряжения или непосредственно от напряжения генератора, обеспечивая необходимый статизм, а также форсировку возбуждения до «потолка» при устойчивом снижении напряжения, превышающем ста-

Описывается система возбуждения синхронных генераторов, сочетающая компаундирование возбудителя от тока статора с электромагнитным корректором напряжения, в котором применены насыщенный трансформатор в качестве нелинейного элемента измерительного органа и магнитный усилитель для усиления воздействия на цепи возбуждения. Корректор напряжения получает питание от трансформаторов напряжения генератора. Устройство в целом не имеет разрывных контактов и движущихся частей и является весьма надежным и удобным в эксплуатации. Точность поддержания напряжения около 1%. Устройство может быть настроено на любой заданный статизм. При аварийных режимах обеспечивается форсировка возбудителя как при небольших устойчивых снижениях напряжения, так и при коротких замыканиях.

тизм и погрешность регулирования. Таким образом, желательная форсировка возбуждения обеспечивается как при значительных, так и при малых перегрузках генератора и посадках напряжения.

Описываемое устройство автоматического регулирования напряжения обеспечивает точность регулирования в пределах 1% как при холостом ходе, так и при нагрузке.

Корректор легко может быть настроен с желательным статизмом и практически не имеет зоны нечувствительности. Эти свойства, а также большая простота и надежность схемы и конструктивного исполнения компаундирования и корректора напряжения, отсутствие механически движущихся частей, разрывных контактов и электронно-ионных приборов, питание от измерительных трансформаторов тока и напряжения, — являются основными достоинствами предлагаемого устройства.

Схемы компаундирования. Принципиальные схемы компаундирования синхронного генератора с электромагнитным корректором напряжения показаны на рис. 1 (согласованное включение корректора) на рис. 2 (противовключение корректора). Основными частями схемы являются устройство компаундирования возбудителя и корректор напряжения.

Схема компаундирования содержит трансформаторы тока 4, регулируемое установочное сопротивление 5, выпрямительный трансформатор 6 и твердые выпрямители 7. Компаундирование включается на шунтовую обмотку возбуждения возбудителя 2 или на отдельную обмотку возбуждения возбудителя.

В схему корректора входят: нелинейный элемент измерительного органа корректора 9, который присоединяется к трансформатору напряжения 8; линейный элемент корректора — источник

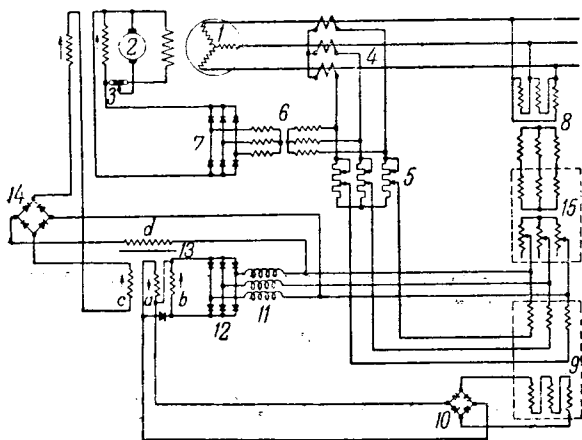


Рис. 1. Принципиальная схема компаундирования синхронного генератора с электромагнитным корректором напряжения при согласованном включении корректора.

1—генератор; 2—возбудитель; 3—шунтовый реостат; 4—трансформаторы тока; 5—установочное сопротивление; 6—выпрямительный трансформатор компаундирования; 7, 10, 12 и 14—твердые выпрямители; 8—трансформатор напряжения; 9—насыщенный трансформатор; 11—ненасыщенный дроссель; 13—магнитный усилитель; 15—установочный трансформатор.

компенсирующего напряжения, представляющий собой трехфазный ненасыщенный дроссель 11 и твердый выпрямитель 12, также питающийся от трансформатора напряжения 8. Магнитный усилитель корректора 13 регулирует ток подпитки возбуждения возбудителя, поступающий от трансформатора напряжения 8 через обмотки переменного тока d магнитного усилителя и через твердый выпрямитель 14. Магнитный усилитель управляется результирующими подмагничивающими ампервитками от выпрямленных токов, поступающих в обмотку управления a , b и в обмотку положительной обратной связи c . Обмотка управления a питается от нелинейного элемента корректора, обмотка управления b от компенсирующего напряжения, причем ампервитки этих обмоток направлены противоположно друг другу. Положительная обратная связь создается обмоткой управления c , включенной последовательно в цепь тока подпитки возбуждения возбудителя. Ампервитки обмотки c направлены или согласованно с ампервитками линейного элемента корректора, или противоположно им в зависимости от того, осуществляется ли соответственно согласованное включение или противовключение подпитки от корректора по отношению к основному возбуждению возбудителя.

Установочный регулятор корректора представляет собой (рис. 1) при согласованном включении корректора установочный трансформатор (или автотрансформатор) 15, регулирующий уставку корректора путем изменения подводимого к нему напряжения. При противовключении корректора для этой цели может быть применен без существенного ухудшения характеристики корректора установочный реостат 15 (рис. 2). В случае применения установочного автотрансформатора или реостата соединение установочного сопротивления компаундирования 5 с нели-

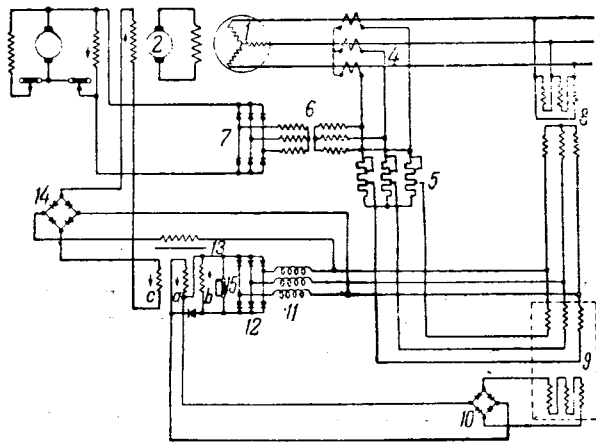


Рис. 2. Принципиальная схема компаундирования синхронного генератора с электромагнитным корректором при противовключении корректора.

1—генератор; 2—возбудитель; 3—шунтовый реостат; 4—трансформаторы тока; 5—регулируемое сопротивление; 6—выпрямительный трансформатор; 7, 10, 12 и 14—твердые выпрямители; 8—трансформатор напряжения; 9—насыщенный трансформатор; 11—ненасыщенный дроссель; 13—магнитный усилитель; 15—установочный реостат.

нейным элементом 9 должно выполняться через разделительный трансформатор.

В схемы входят непоказанные на рисунках и применяемые лишь в случае необходимости конденсаторы, которые могут быть присоединены непосредственно к трансформатору напряжения для уменьшения его реактивной нагрузки, и конденсаторы, которые могут быть включены последовательно в цепь линейного дросселя 11 для уменьшения зависимости уставки корректора от частоты, а также выключатели и измерительные приборы.

Помимо показанного включения корректора на дополнительную обмотку возбуждения возбудителя корректор при отсутствии отдельной обмотки может согласованно включаться вместе с компаундированием параллельно к общей шунтовой обмотке или последовательно в цепь шунтового реостата, или же в цепь компаундирования. Противовключение корректора при отсутствии дополнительной обмотки может осуществляться присоединением корректора к шунтовому реостату так, чтобы ток подпитки увеличивал падение напряжения на шунтовом реостате. Во всех этих случаях мощность, требующаяся от корректора, обычно возрастает по сравнению со схемой включения корректора на отдельную обмотку возбуждения возбудителя.

Противовключение корректора имеет некоторые преимущества, например, увеличение скорости и повышение устойчивости регулирования по сравнению со схемами согласованного включения. Но при этом возникает опасность перемagnичения возбудителя с самовозбуждением при резком увеличении тока подпитки от корректора. Поэтому противовключение может быть рекомендовано лишь для схем, в которых применена стабилизация, заключающаяся в том, что возбуждение хотя бы частично питается от другого источника, например, от подвозбудителя,

ные испытания показали, что при несимметрии, соответствующей напряжению обратной последовательности до 15% напряжения прямой последовательности (что практически не встречается на генераторном напряжении), измерительный орган отмечает напряжение прямой последовательности с погрешностью не более 1%.

Нелинейный элемент измерительного органа корректора можно выполнить в виде насыщенных дросселей, а не трансформаторов, но при этом его характеристики ухудшаются, так как крутизна изменения тока дросселя меньше, чем тока третьей гармоники во вторичной обмотке трансформатора. Эта крутизна у тока дросселя также сильнее зависит от нагрузки. Кроме того, ст трансформатора можно получить большой ток в обмотке управления магнитного усилителя без увеличения нагрузки трансформатора напряжения, что выгодно с точки зрения конструкции магнитного усилителя.

Величиной, определяющей ток в треугольнике измерительного органа, является поток в стали. Поток в стали полностью определяется отношением напряжения U к частоте ω , поэтому ω :

$$I_{\Delta} = F\left(\frac{U}{\omega}\right)$$

и приближенно

$$I_{\Delta} = \frac{U_n - U_0}{3\omega L_{\Delta}}.$$

Поэтому измерительный элемент отмечает подъем частоты на 1% как понижение напряжения на 1% и посадку частоты на 1% как подъем напряжения на 1%.

Если ток измерительного элемента I_{Δ} сравнивается (непосредственно или электромагнитным путем) с током линейного дросселя I_{Δ} , причем условие $I_{\Delta} = m \cdot I_{\Delta}$ выполняется при напряжении U_n , то, полагая приближенно

$$I_{\Delta} = \frac{U_n}{\omega L_{\Delta}} \text{ и } m I_{\Delta} = m a (U_n - U_0) = \frac{m \cdot (U_n - U_0)}{3\omega L_{\Delta}}$$

получим:

$$\frac{U_n}{\omega L_{\Delta}} = \frac{m(U_n - U_0)}{3\omega L_{\Delta}} \text{ откуда } U_n = \frac{U_0}{1 - \frac{3}{m} \frac{L_{\Delta}}{L_{\Delta}}}.$$

Таким образом, напряжение U_n зависит от частоты в такой же мере, как напряжение U_0 , а оно прямо пропорционально частоте.

Экспериментально снятая характеристика измерительного органа в зависимости от частоты (без частотной компенсации), показанная на рис. 4, подтверждает приведенный анализ.

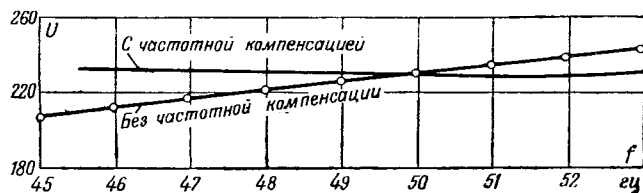


Рис. 4. Зависимость «уставки» корректора от частоты.

Чувствительность измерительного органа $\frac{\delta I}{\delta U} = \frac{I_{\Delta} - m I_{\Delta}}{\delta U}$ также зависит от частоты. Подставляя в уравнение $\delta I = \frac{U}{\omega L_{\Delta}} - \frac{m \cdot (U - U_0)}{3\omega L_{\Delta}}$

значение: $U = U_n + \delta U$ и $\frac{m \cdot U_0}{3\omega L_{\Delta}} = \frac{m U_n}{3\omega L_{\Delta}} - \frac{U_n}{\omega L_{\Delta}}$,

можно получить:

$$\frac{\delta I}{\delta U} = \frac{1}{\omega} \left(\frac{1}{L_{\Delta}} - \frac{m}{3L_{\Delta}} \right).$$

Последняя зависимость показывает, что при увеличении частоты статизм регулятора также увеличивается и, наоборот; это несколько компенсирует указанное выше изменение в зависимости от частоты «уставки» регулятора по напряжению.

Следует отметить, что в условиях работы электростанций энергосистем полученная частотная характеристика корректора является вполне благоприятной. При посадке частоты в системе, возникающей обычно при недостатке мощности, снижение величины поддерживаемого корректором напряжения, пропорциональное частоте, несколько разгружает систему и не вызывает перегрузки реактивной мощностью, что получилось бы, например, при характеристике корректора, не зависящей от частоты, или, тем более, при повышении поддерживаемого корректором напряжения при снижении частоты. Обычно пределы колебания частоты в энергосистеме невелики.

Если же снижение напряжения превосходит допустимое значение, например, из-за развивающегося нарушения статической устойчивости, то корректор должен обеспечить форсировку возбуждения генератора до «потолка» уже при снижении напряжения до 10% от «уставки» корректора в данном режиме (что может соответствовать снижению напряжения от номинала до 20%, полагая, что «уставка» в исходном режиме была предварительно снижена на 5% и дополнительно из-за посадки частоты снизилась еще на 5%).

Для генераторов, работающих изолированно от мощных энергосистем и снабженных механическими двигателями с несовершенными регуляторами скорости, изменение частоты может происходить в довольно широких пределах. Для уменьшения при этом изменения напряжения, поддерживаемого корректором, в схему его легко может быть введена частотная поправка (рис. 4).

Поправку осуществляют конденсаторы, включаемые последовательно или параллельно в цепь линейного дросселя компенсирующего устройства. Нетрудно видеть, что применение вместо линейного дросселя активных сопротивлений или независимого источника компенсирующего напряжения приводит к усилению зависимости уставки корректора от частоты.

Выходная мощность измерительного органа недостаточна, чтобы непосредственно оказать нужное воздействие на возбуждение возбуждения. Поэтому, между измерительным органом и

цепями возбуждения вводится магнитный усилитель, задачей которого является повысить энергию регулирования и одновременно в случае необходимости изменить знак регулирующего воздействия.

Обмотка управления магнитного усилителя разбивается на две части. Одна питается через выпрямитель нелинейного элемента измерительного органа, либо от эталонного напряжения, либо от измеряемого напряжения через выпрямитель ненасыщенного (линейного) дросселя. Если при номинальном напряжении ампервитки обеих обмоток управления почти компенсируются, то при понижении или увеличении напряжений такой компенсации не будет, и выходной ток магнитного усилителя соответственно возрастет или уменьшится.

Следует отметить, что относительный прирост разностных ампервитков управления будет значительно больше, чем относительный прирост ампервитков каждой обмотки управления в отдельности. Рост выходного тока магнитного усилителя при изменении напряжения можно сделать более резким, если применить положительную обратную связь в виде дополнительного подмагничивания от третьей обмотки, обтекаемой током выхода магнитного усилителя. Увеличивая крутизну одной ветви характеристики, обратная связь к тому же понижает крутизну другой, что весьма благоприятно в данном случае.

При заданном объеме меди обмотки управления положительная обратная связь позволяет снизить мощность управления, однако усиливающееся проявление гистерезиса (если не применены специальные мероприятия), а также возможность появления «триггерного» эффекта ограничивают коэффициент обратной связи.

Силовую цепь магнитного усилителя можно питать от любого надежного источника переменного тока. С эксплуатационной точки зрения весьма целесообразно в целях повышения надежности работы корректора питать силовую цепь магнитного усилителя от напряжения генератора. Если цепь линейного дросселя также питается от напряжения генератора, то вся схема становится независимой и не нуждается в посторонних источниках питания. В этом случае напряжение в силовой цепи магнитного усилителя не остается постоянным при изменении напряжения генератора. Характеристики корректора (ток выхода магнитного усилителя) в зависимости от напряжения генератора при питании всех цепей от напряжения генератора представлены на рис. 5 и 6. Сплошными линиями показаны характеристики корректора при наличии блокирующего выпрямителя, связывающего обмотки управления a и b магнитного усилителя. Пунктиром показано изменение этих характеристик при отсутствии блокирующего выпрямителя.

При понижении напряжения до 85—90% номинального может быть обеспечено достаточное изменение тока подпитки от корректора для подъема возбуждения генератора (с учетом одновременного влияния компаундирования) до

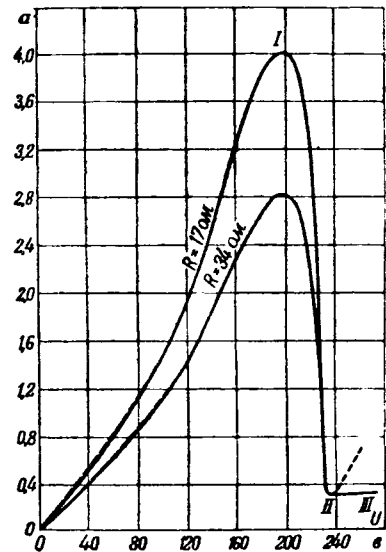


Рис. 5. Характеристика корректора при согласованном включении (R — нагрузка на выходе).

потолка. Снижение тока подпитки корректора на рис. 5 после достижения максимума при дальнейшем снижении напряжения компенсируется ростом тока компаундирования, и таким образом, полная подпитка возбуждения возбудителя оказывается достаточной для достижения потолка возбуждения при любом режиме генератора вплоть до трехполюсного короткого замыкания на его зажимах.

Эти характеристики подпитки от корректора являются определяющими для работы всего устройства. Крутизна характеристики в зоне рабочих напряжений I и II (рис. 5, 6) определяет статизм регулирования, максимальный и мини-

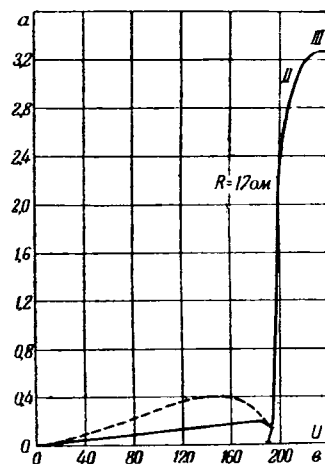


Рис. 6. Характеристика корректора при противовключении.

мальный ток, предельную форсировку (дополняемую компаундированием), предельную возможность автоматического регулирования при повышенном или при пониженном напряжении и при холостом ходе генератора.

Расчет ведется так, чтобы знак подпитки для той или иной схемы включения корректора не изменялся, что позволяет не применять дифференциальных магнитных усилителей, более сложных по конструкции. Но при этом необходимо, например, чтобы минимальный ток по характеристике подпитки от корректора на рис. 6 был бы меньше тока подпитки при холостом ходе генератора как при наименьшем, так и при наибольшем допуске в эксплуатации напряжения.

Понизить минимум тока подпитки, не снижая заметно его максимума, можно, включая небольшую емкость параллельно обмотке переменного тока магнитного усилителя для компенсации реактивного тока магнитного усилителя.

Компаундирование от тока нагрузки имеет весьма существенное значение в описываемой схеме возбуждения и автоматического регулирования напряжения синхронных генераторов.

Благодаря частичной подпитке возбуждения возбудителя от компаундирования значительно уменьшается необходимая мощность подпитки от корректора. Это дает возможность осуществить питание как измерительной, так и силовой цепи корректора от нормального трансформатора напряжения, присоединенного к зажимам генератора. Между тем, при отсутствии компаундирования силовую цепь корректора пришлось бы питать от трансформатора собственных нужд или от специального трансформатора.

Компаундирование осуществляет форсировку возбуждения возбудителя при сильных снижениях напряжения на зажимах генератора (в пределе — при коротких замыканиях), уменьшая также требующийся максимальный ток подпитки от корректора для обеспечения форсировки при сравнительно небольших снижениях напряжения. В ненормальных режимах генератора при переходе на нерабочие участки характеристики корректора $0-I$ и $II-III$, соответствующие как сильно пониженному, так и повышенному напряжению, компаундирование облегчает условия устойчивой работы корректора.

Действительно, при отсутствии ненормальностей в самой схеме возбуждения генератора, снижение напряжения на его зажимах может возникнуть или вследствие увеличения нагрузки, или вследствие снижения напряжения в системе (при параллельной работе с другими генераторами). В обоих случаях наличие компаундирования будет противодействовать снижению напряжения генератора, так как одновременно возрастает компаундирующий ток. Точно так же при повышении напряжения, которое может возникнуть при разгрузке генератора или при практически возможном повышении напряжения в системе, компаундирующий ток уменьшается, противодействуя повышению напряжения на зажимах генератора.

Ток выхода корректора напряжения с электромагнитным усилителем изменяется с некоторым запаздыванием по отношению к току в управляющих цепях. Кроме того, изменение на-

пряжения генератора, от которого питается силовая цепь усилителя, влияет на величину тока подпитки возбуждения, дополнительно замедляя его изменение при воздействии корректора в случае согласованного включения или ускоряя — в случае противовключения. Было получено, например, из осциллограмм испытаний корректора при согласованном включении, что нарастание тока подпитки возбуждения под воздействием корректора начиналось лишь спустя 0,3—0,4 сек. после внезапного снижения напряжения генератора. Это запаздывание корректора компенсируется высоким быстродействием форсировки возбуждения от компаундирования, электромагнитной инерцией звеньев которого можно практически пренебречь.

В зависимости от способа включения корректора напряжения изменяется несколько выбор параметров схемы компаундирования. Для обеспечения устойчивости автоматического регулирования напряжения при холостом ходе генератора необходимо, чтобы шунтовой реостат по сравнению с положением, соответствующим холостому ходу генератора, находился при согласованном включении корректора — в положении увеличенного сопротивления, при противовключении корректора — в положении уменьшенного сопротивления. С другой стороны, при увеличении нагрузки генератора до максимальной длительной допустимой величины и при неизменном указанном выше положении шунтового реостата параметры схемы компаундирования должны быть такими, чтобы обеспечить при согласованном включении корректора пониженное (например, на 5%) напряжение генератора при наиболее высоком эксплуатационном значении коэффициента мощности генератора, при противовключении корректора — повышенное (например, на 5%) напряжение генератора при наиболее низком эксплуатационном значении коэффициента мощности генератора. Это обусловлено тем, что во всем диапазоне регулирования ток выхода корректора не меняет своего направления, изменяясь лишь по величине.

Таким образом, при противовключении корректора может быть допущено более интенсивное компаундирование, более высокий коэффициент компаундирования, определяемый как $\frac{di_g}{dI}$, где i_g — полный ток возбуждения возбудителя, а I — ток генератора. Это определяет и более высокую степень форсировки возбуждения возбудителя, благодаря компаундированию при коротком замыкании генератора. Все же в ряде случаев при установочном сопротивлении компаундирования, выполненном в виде простого реостата, форсировка возбуждения возбудителя может оказаться недостаточной. Тогда может быть применено одно из следующих мероприятий для повышения степени форсировки возбуждения возбудителя:

1. Выполнение установочного сопротивления компаундирования в виде дросселя.

2. Выполнение установочного сопротивления в виде термистора с достаточно резко выражен-

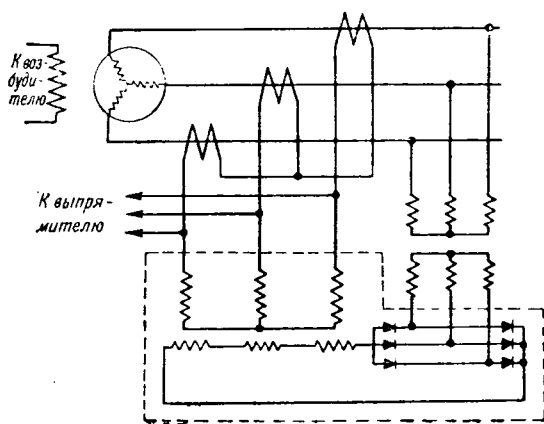


Рис. 7. Установочное сопротивление компаундирования в виде дросселя с подмагничиванием.

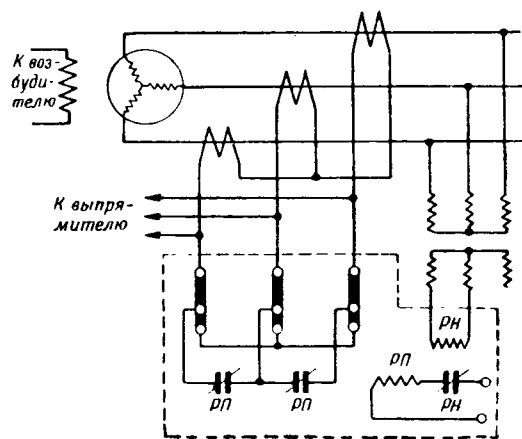


Рис. 8. Установочное сопротивление компаундирования в виде реостата с релейной форсировкой (ПР—реле промежуточное, РН—минимального напряжения).

ной положительной температурной зависимостью¹. Конструктивно такой термистор просто и надежно выполняется в виде нормальных ламп накаливания мощностью 200—500 вт, включаемых в каждой фазе установочного сопротивления компаундирования по 2—3 параллельно и шунтируемых реостатами для плавного введения и вывода компаундирования и его регулировки.

3. Выполнение установочного сопротивления в виде дросселя с подмагничиванием от напряжения генератора (рис. 7). Такое устройство несколько усложняет схему компаундирования, но является вполне надежным и полностью обеспечивает необходимую степень форсировки возбуждения. Кроме того, выполнение установочного сопротивления компаундирования в виде дросселя с подмагничиванием значительно уменьшает требующуюся мощность от корректора напряжения в режиме форсировки возбуждения при снижениях напряжения на 10—20%.

4. Сочетание с установочным сопротивлением компаундирования релейной форсировки возбуждения, осуществляемой, как показано на рис. 8, от реле напряжения, воздействующего на промежуточное двух- или трехконтактное реле, шунтирующее нормально замкнутыми контактами добавочные сопротивления в цепи установочного реостата. Такое релейное устройство также полностью обеспечивает необходимую форсировку возбуждения, является достаточно надежным и при наличии реле более легко выполнимым, чем дроссель с подмагничиванием.

Если на нелинейный элемент измерительного органа подается напряжение генератора, то вся схема в целом обладает естественным статизмом, увеличивающимся с уменьшением коэффициента мощности нагрузки генератора. Для регулирования величины статизма можно подавать на нелинейный элемент геометрическую сумму напряжения генератора и падения напряжения в сопротивлении, обтекаемом током генератора (вто-

ричным током трансформаторов тока). Для этого в нулевую точку первичных обмоток трансформаторов нелинейного элемента можно включить звезду сопротивлений, которые обтекаются вторичным током трансформаторов тока, как это показано на рис. 1 и 2 (поз. 5 и 9). Такое соединение дает возможность получить регулировку абсолютной величины статизма и изменение его знака. Можно также воздействовать на зависимость статизма от коэффициента мощности, если менять сочетание фаз трансформаторов тока на звезде сопротивлений с фазами трансформатора напряжения. Можно, например, получить статизм при $\cos \varphi = 1$, более высокий, чем при индуктивном коэффициенте мощности, или наоборот. Это мероприятие позволит получить почти астатическое регулирование и, если нужно, гиперкомпаундирование. Такую связь уставки корректора с величиной нагрузки генератора целесообразно назвать компаундированием корректора.

Определение величины изменения статизма при компаундировании корректора для различных схем соединения и в зависимости от коэффициента мощности генератора может быть произведено по графику, показанному на рис. 9.

Результаты испытаний. В лаборатории электростанций и энергосистем Института электротехники Академии наук УССР были проведены испытания макетной схемы, а затем изготовленного устройства, пригодного для работы в промышленных условиях, соответствующего изложению выше описанию.

Подробное описание изготовленных аппаратов, методики расчета схемы и отдельных ее элементов, а также более полное изложение результатов расчетов и испытаний будет изложено нами в отдельной работе.

Испытания, проведенные на синхронных машинах мощностью 6 и 35 квт, показали, что предлагаемая схема является весьма удачной. Статизм регулирования (без компаундирования корректора) в пределах от холостого хода до номинального тока машины при согласованном включении корректора и $\cos \varphi = 0,4$ (индуктивного) составлял всего 2—3 %. При $\cos \varphi = 0,8$

¹ Предложено В. М. Хрущовым в 1940 г. для улучшения внешней характеристики компаундированных генераторов по условиям регулирования напряжения в нормальных режимах.

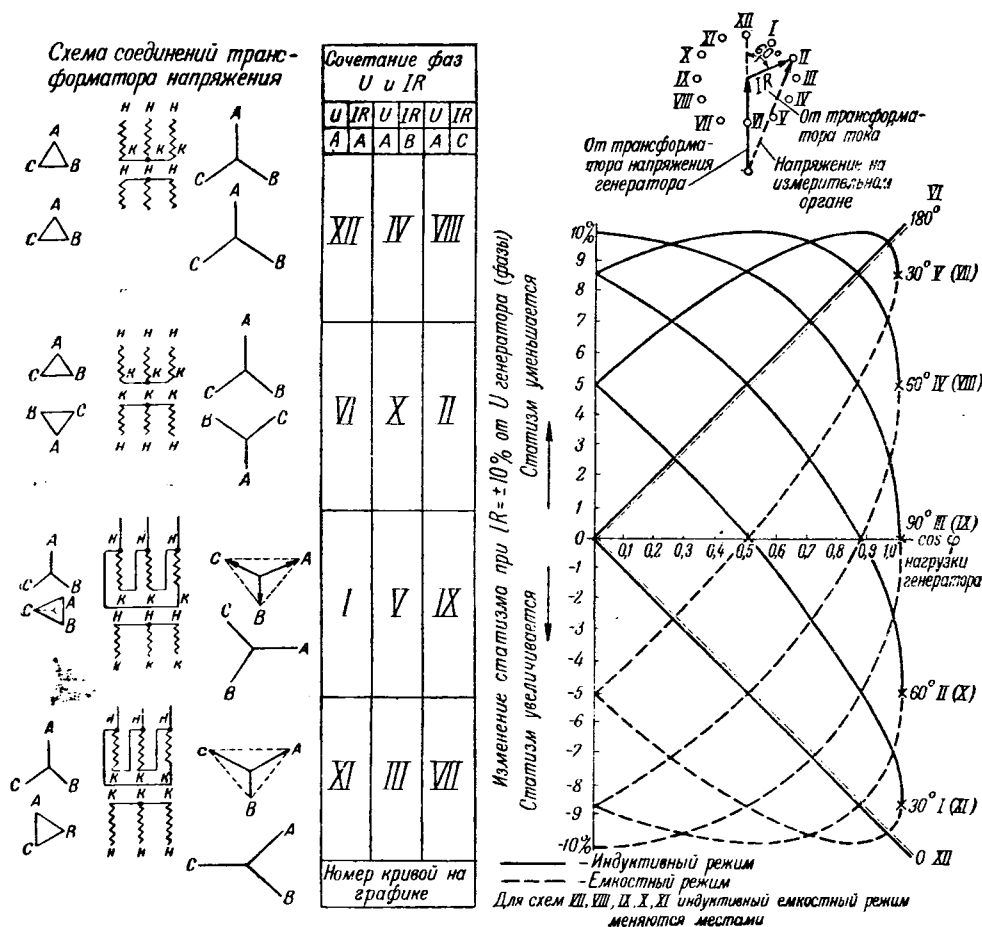


Рис. 9. График для расчета компаундирования корректора.

статизм уменьшался, но превышения напряжения сверх номинального не было. При противовключении корректора для $\cos \varphi = 0,4$ и для $\cos \varphi = 0,8$ получена практически астатическая характеристика.

Для проверки условий форсировки произво-

дился прямой пуск от изолированно работавшего генератора 35 кВт двух асинхронных короткозамкнутых двигателей мощностью по 30 кВт, нормально пускаемых переключением обмоток статора. На одном валу с каждым двигателем находились генераторы постоянного тока мощностью по 24 кВт. При одновременном прямом включении двух двигателей посадка напряжения синхронного генератора составляла около 60%, но двигатели разворачивались за время около 10 сек. Пусковой ток составлял около 250% от номинального тока генератора.

При прямом включении одного двигателя посадка напряжения составляла около 50%, время разворота при согласованном включении корректора около 8,3 сек., при противовключении — около 5,4 сек. При включении двух двигателей установка корректора соответствовала напряжению генератора 230 в, при включении одного — 200 в, что относительно утяжеляло пуск.

Без компаундирования и корректора даже один двигатель при прямом включении не разворачивался.

На рис. 10 приведены внешние характеристики генератора с компаундированием и корректором (согласованное включение), а также ток самовозбуждения, компаундирующий ток и ток подпитки от корректора.

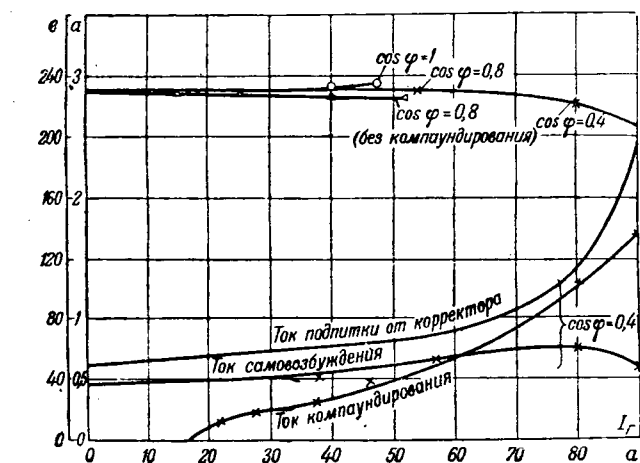


Рис. 10. Внешние характеристики генератора с компаундированием и электромагнитным корректором и характеристики возбуждения возбудителя.

1 — ток подпитки от корректора; 2 — самовозбуждения; 3 — ток компаундирования.

Установка для поверки частотомеров с использованием несущей частоты радиостанции

Кандидат техн. наук Ю. М. ЭЛЬКИНД

Центральная научно-исследовательская электротехническая лаборатория
Министерства Электростанций

В связи с объединением и ростом мощности энергетических систем Советского Союза, а также распространением автоматических регуляторов и реле частоты, появилась необходимость измерения частоты с высокой степенью точности. С этой целью в эксплуатации начинают все в большей степени применять стрелочные и самопишущие частотомеры высокого класса точности. Так, например, разработанные ЦНИЭЛ МЭС детекторные частотомеры имеют класс точности 0,5 при шкале 45—55 гц и 0,2 при шкале 49—51 гц [Л. 1].

Для поверки и градуировки стрелочных частотомеров и для настройки частотных контуров автоматических регуляторов частоты необходимо иметь соответствующие эталонные установки, обеспечивающие точность измерения порядка 0,01%.

Нашедшие практическое применение методы измерения различаются в зависимости от способа сравнения измеряемой частоты с эталонной, а именно:

- а) сравнение измерением числа оборотов синхронного двигателя с помощью сигналов точного времени от астрономических часов [Л. 2];
- б) сравнение с помощью стробоскопического эффекта и камертонного генератора [Л. 3];
- в) сравнение с помощью катодно-лучевой трубки и лампового генератора [Л. 4].

Существенными недостатками первых двух методов является наличие движущихся или вибрирующих частей и контактов, требующих надзора и ухода (синхронный двигатель, реле, счетчик оборотов в первой установке, камертонный генератор и синхронный двигатель во второй). В обоих ограниченность верхнего предела диапазона измерения частоты ($\sim 1\,000$ гц), а также трудность выполнения эталонов силами эксплуатации.

В настоящей статье приводятся результаты работ ЦНИЭЛ МЭС по созданию новой эталонной установки для поверки и градуировки частотно-измерительной аппаратуры. Показана целесообразность и возможность использования в качестве эталонной частоты несущей частоты радиовещательной станции. Приведены данные о стабильности несущей частоты радиовещательных станций, а также дан анализ точности и чувствительности принятого метода измерения. Дано описание установки, изготовленной ЦНИЭЛ МЭС, и приведены результаты ее эксплуатации.

В третьем методе — измерение частоты с помощью катодно-лучевой трубки и лампового генератора — обеспечивается необходимая ясность и быстрота отсчета, удобные и легкое управление, отсутствуют какие-либо движущиеся или вибрирующие части и контакты,

обеспечивается широкий диапазон измерений, дается необходимая степень точности, а сама установка может быть сравнительно легко выполнена силами эксплуатации.

Современные кварцевые генераторы дают стабильность частоты порядка $0,01 \div 0,02\%$, а с применением термостатирования могут дать стабильность порядка $10^{-5}\%$.

Установки, основанные на методе сравнения частот, получают особое преимущество в тех случаях, когда в качестве источника эталонной частоты используется эталонная частота, передаваемая специальной радиостанцией. В этом случае отпадает необходимость наличия местного генератора эталонной частоты и выполнение установки весьма упрощается. В тех случаях, когда точность измерения достаточна порядка 0,01%, в качестве эталонной частоты может быть использована несущая частота радиовещательных станций.

Для обеспечения проверки и градуировки частотно-измерительной аппаратуры в диапазоне промышленных частот ЦНИЭЛ МЭС разработана и изготовлена эталонная установка такого рода¹. Сравнение несущей частоты с промышленной осуществляется с помощью фигур Лиссажу на экране катодно-лучевой трубки. Приняты меры для уменьшения кратности отношения несущей и промышленной частот, которая весьма значительна. Последнее может быть достигнуто либо введением промежуточной частоты, либо преобразованием частот (умножением и делением). В установке ЦНИЭЛ принят метод сравнения с помощью промежуточной частоты.

¹ В работе принимал участие А. П. Осадчий.

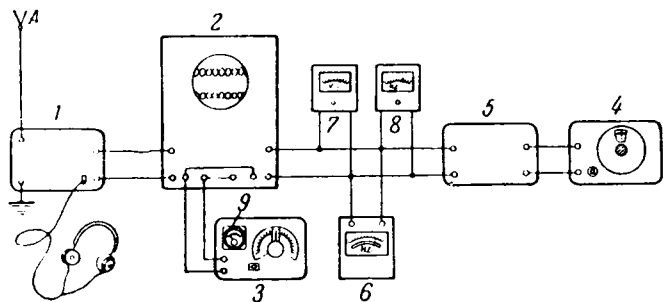


Рис. 1. Скелетная схема установки ЦНИЭЛ по проверке частотных приборов:

1—выделитель несущей частоты; 2—двухлучевой электронный осциллоскоп; 3—генератор промежуточной частоты с встроенным стрелочным частотомером; 4—генератор измеряемой частоты; 5—усилитель измеряемой частоты; 6—проверяемый частотный прибор; 7—контрольный вольтметр; 8—контрольный частотомер.

На рис. 1 приведена скелетная схема этой установки. Специальным приемным устройством 1 обеспечивается на выходе синусоидальное напряжение несущей частоты радиовещательной станции.

В качестве источника промышленной частоты, при которой производится поверка и градуировка частотно-измерительной аппаратуры, используется ламповый генератор 4 и усилитель 5. Промежуточная частота получается с помощью лампового генератора 3. Индикатором сравнения частот служит двухлучевой катодный осциллоскоп 2. К его отклоняющим пластинам одного канала подаются несущая и промежуточная частоты, а к отклоняющим пластинам второго канала подаются промежуточная и промышленная (измеряемая) частоты. Соответствующей регулировкой обоих генераторов добиваются остановки на экране фигур Лиссажу. В этот момент соотношение между несущей и измеряемой частотами, как известно, пропорционально отношению двух целых чисел, а промежуточная частота из результата измерения исключается.

Действительно, пусть

$$\frac{f_{\text{эт}}}{f_{\text{пр}}} = M \quad (1)$$

и

$$\frac{f_{\text{пр}}}{f_{\text{изм}}} = N, \quad (2)$$

где $f_{\text{эт}}$ — эталонная частота (несущая частота радиостанции);

$f_{\text{изм}}$ — измеряемая (промышленная) частота;

$f_{\text{пр}}$ — промежуточная частота; $M = \frac{a}{b}$,

$$N = \frac{c}{d};$$

a, b, c, d — любые целые числа.

Практически, при измерении, частота промежуточного генератора поддерживается неизменной $M = \text{const}$ и в необходимых пределах изменяется измеряемая частота $N = \text{var}$. Задаваясь различными значениями N , по формуле (2) подсчитывают истинные значения частот опорных точек $f_{\text{изм}}$ для выбранного значения промежуточной частоты $f_{\text{пр}}$.

Исследование схем сравнения частот, проведенные в ЦНИЭЛ, с использованием в качестве индикатора катодно-лучевой трубки показали, что уже при кратности сравниваемых частот порядка 20—30 рассмотрение фигур Лиссажу затруднено, а при больших кратностях невозможно. Однако, повышая амплитуды напряжения приложенного к отклоняющим пластинам, можно получить в пределах экрана трубки только несколько петель, что дает возможность четкого рассмотрения фигур Лиссажу при кратностях сравниваемых частот порядка 100—150. Оптимальная частота промежуточного генератора является среднегеометрической сравниваемых частот:

$$f_{\text{пр.опт}} = \sqrt{f_{\text{эт}} \cdot f_{\text{изм}}}. \quad (3)$$

В установке ЦНИЭЛ используется несущая частота 200 кГц одной из радиовещательных станций СССР, поэтому оптимальная частота промежуточного генератора была выбрана равной

$$f_{\text{пр.опт}} = \sqrt{200\,000 \cdot 50} \approx 3\,160 \text{ гц}.$$

Практически для генератора промежуточной частоты была выбрана частота, кратная 200 кГц, а именно:

$$f_{\text{пр}} = \frac{200\,000}{65} = 3\,076,923 \text{ гц}.$$

Таблица 1

Опорные точки частотной шкалы

Кратность	Точные значения измеряемой частоты для $f_{\text{пр}} = 3\,076,923$					
	0	1/4	1/3	1/2	2/3	3/4
55	55,944	55,691	55,607	55,440	55,274	55,191
56	54,945	54,701	54,619	54,458	54,298	54,219
57	53,981	53,745	53,667	53,511	53,357	53,280
58	53,050	52,822	52,747	52,597	52,447	52,373
59	52,151	51,931	51,858	51,713	51,568	51,498
60	51,282	51,069	50,999	50,858	50,718	50,649
61	50,441	50,235	50,167	50,031	49,896	49,828
62	49,627	49,428	49,362	49,231	49,099	49,035
63	48,841	48,647	48,582	48,455	48,328	48,265
64	48,077	47,835	47,827	47,704	47,581	47,520
65	47,337	47,155	47,095	46,976	46,856	46,797
66	46,620	46,444	46,385	46,269	46,154	46,096
67	45,924	45,753	45,696	45,584	45,471	45,415
68	45,248	45,083	45,028	44,911	44,809	44,755
69	44,593	44,432	44,378	44,272	44,166	44,113

В табл. 1 приведены результаты расчета опорных точек с точностью до 10^{-3} .

Для устранения грубых ошибок в их определении при градуировке шкал в схеме рис. 1 предусмотрен контроль промежуточной и изменяемой частот с помощью стрелочных частотомеров класса 0,5. Число опорных точек частотной шкалы определяется кратностями сравниваемых частот и изображением фигуры Лиссажу с наибольшим числом линий, которую можно надежно рассмотреть на экране катодно-лучевой трубки.

Опыт показывает, что в существующих конструкциях катодных осциллографов можно поль-

зоваться фигурами Лиссажу вплоть до четырехлинейных. Если обозначить через $f'_{изм}$ и $f''_{изм}$ граничные значения измеряемых частот, то суммарное число опорных точек при использовании всех фигур Лиссажу вплоть до четырехлинейных, может быть определено по следующей формуле:

$$n_c = 6 \frac{f_{пр} (f'_{изм} - f''_{изм})}{f'_{изм} \cdot f''_{изм}}. \quad (4)$$

В случае, когда $f'_{изм} = 55$ гц и $f''_{изм} = 45$ гц, то для $f_{пр} \approx 3076$ гц число опорных точек равно:

$$n_c = 6 \frac{3076 (55 - 45)}{55 \cdot 45} \approx 70,$$

т. е. в среднем на каждый герц по 6—8 точек (табл. 2).

Таблица 2

Международный регламент стабильности частот радиовещательных станций

Класс радиостанций	Пределы частот, кГц	Пределы для Голл., м	Допустимые отклонения частоты, гц	
			старые установки	новые установки с 1940 г.
A	10—550	30 000—545	50	20
B	550—1 500	545—200	50	20
C	1 500—1 600	200—187,5	50	20
	1 600—6 000	187,5—50	0,01 0,01	0,005 0,005
	6 000—30 000	50—10		

Для контроля правильности приема несущей частоты, выделенной для этой цели радиовещательной станции в приемном устройстве 1 (рис. 1) предусмотрен выходной каскад звуковой частоты для приема ее на телефон. Контроль правильности приема производится путем сравнения фактических радиопередач с программными.

Приведем краткие характеристики основных элементов установки.

Двухлучевая катодная трубка 2 имеет диаметр экрана 95 мм. Чувствительность трубки — 40 в/см. Для вертикальных отклоняющих пластин каждого канала предусмотрены трехкаскадные компенсированные усилители на лампах 6К7 и 6В6 с коэффициентом усиления, равным ~1000.

Генератор промежуточной частоты 3 выбран транзитронного типа и состоит из двух каскадов. Диапазон его частот 3 040—3 100 гц плавно перекрывается в трех поддиапазонах. Стабилизация анодного напряжения достигается с помощью стабиливольтов типа STV*150/20.

Генератор промышленной частоты выполнен по мостовой схеме типа R-C. Диапазон его частот 45—55 гц перекрывается плавно в пяти поддиапазонах. Стабилизация напряжения осуществляется с помощью нелинейного сопротивления (лампочка накаливания 3 вт, 110 в) в цепи катода первой лампы. Усилитель промышленной частоты собран по двухтактной схеме и обеспе-

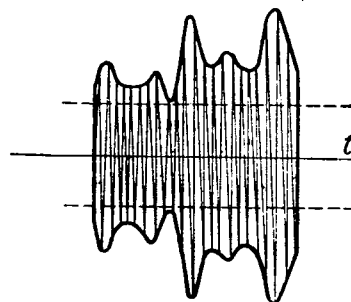


Рис. 2. Напряжение несущей частоты радиостанции, модулированное спектром звуковых частот.

чивает на выходе неискаженную мощность порядка 10—15 ватт.

Несколько подробнее остановимся на устройстве для выделения напряжения несущей частоты из суммарного напряжения всех частот, составляющих спектр, излучаемый радиовещательной станцией. На рис. 2 представлена кривая этого суммарного напряжения на входе приемного устройства. Как известно, выделение несущей частоты может быть осуществлено «срезом» амплитуд напряжений суммарной кривой, как это показано пунктиром. Для этой цели применяется амплитудный ограничитель, представляющий собой каскад усиления, лампа которого работает в режиме насыщения.

Само устройство для выделения несущей частоты, приведенное на рис. 3, состоит из приемной антенны А, двух каскадов настроенного усилителя высокой частоты, собранного на лампах 6К7, амплитудного ограничителя на лампе 6Ж7 и выходных усилителей высокой и низкой частоты, собранных на лампах 6К7. Режим работы амплитудного ограничителя подобран экспериментально и характеризуется следующими данными:

$$U_a = 103 \text{ в}; U_{g1} = 0; U_{g2} = 22 \text{ в}.$$

Ограничение амплитуды [Л. 5] происходит благодаря совместному действию ряда факторов:

1) лампа работает в режиме насыщения анодного тока;

2) при подаче входного напряжения появляется сеточный ток и лампа шунтирует контур предыдущего каскада, снижая его усиление;

3) сеточный ток ограничителя создает на сопротивлении гридлика напряжение смещения, которое снижает усилие ограничительного каскада.

В анодной цепи лампы ограничителя 6Ж7 включен резонансный контур L_5 — C_{20} , настроенный на несущую частоту принимаемой радиостанции (в установке ЦНИЭЛ на частоту 200 кгц). Основная гармоническая трапециoidalного импульса (рис. 2) анодного тока ограничителя развивается на этом контуре значительное напряжение. Напряжение остальных гармоник подавляется. В результате выходное напряжение является синусоидальным, частота его равна частоте несущей, а амплитуда остается неизменной при изменении в широких пределах амплитуды

входного напряжения. Режим работы и параметры схемы амплитудного ограничителя были подобраны оптимальными для глубины модуля-

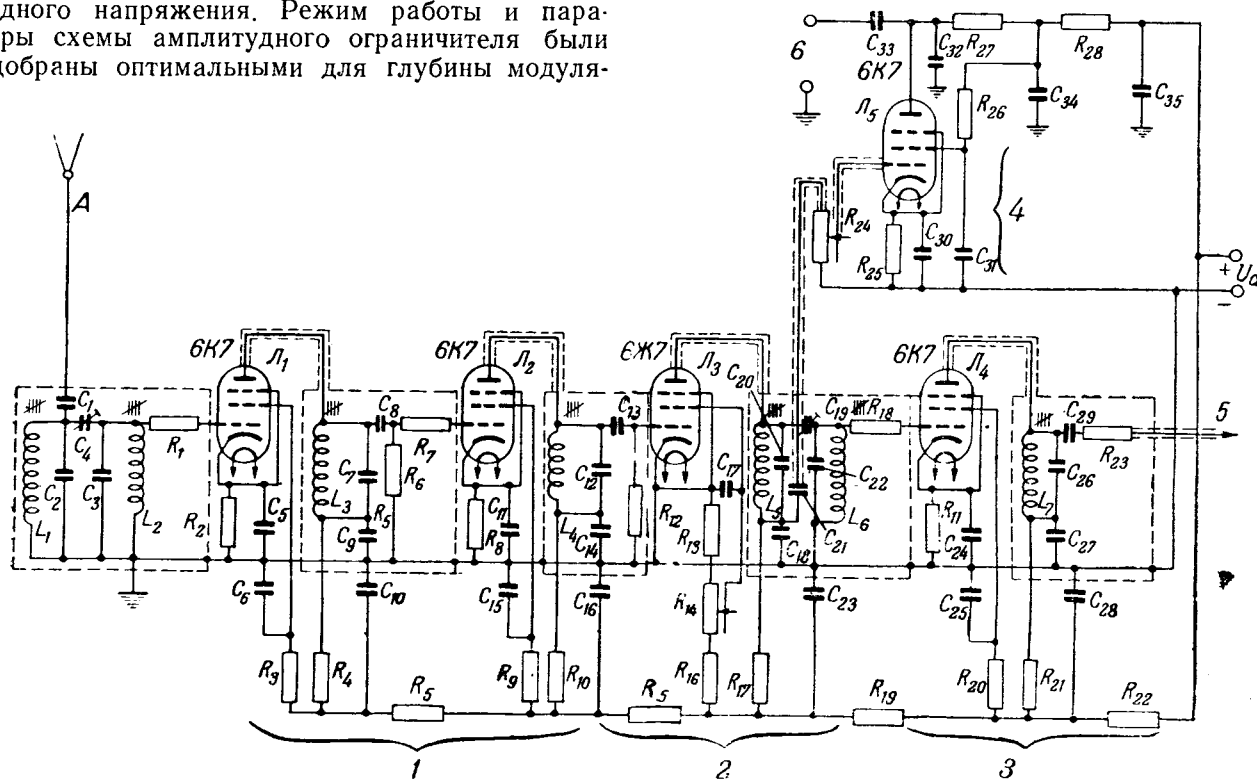


Рис. 3. Схема приемного устройства для выделения несущей частоты.

1 — каскады высокой частоты; 2 — ограничитель; 3 — выходной усилитель высокой частоты; 4 — усилитель низкой частоты; 5 — выход высокой частоты; 6 — выход звуковой частоты.

ции несущей частоты радиотелефонных станций 90%.

На рис. 4 изображена характеристика амплитудного ограничения всей установки для выделения несущей частоты. Как видно из кривой рис. 4, при входных напряжениях установки 40—50 мкВ изменения выходного напряжения установки не превышают 15—20%, что является вполне достаточным для работы.

Рассмотрим теперь вопрос о стабильности несущих частот радиовещательных станций. Регламент радиосвязи, принятый в 1938 г. международной конференцией в Каире [Л. 6], устанавливает предельные допустимые отклонения несущих частот для радиовещательных станций всех

стран. Эти допустимые отклонения приведены в табл. 2. Из них следует, что наиболее выгодными длинами волн с точки зрения процентной стабильности частот являются волны, соответствующие частотам от 400 до 1600 кГц, для которых допустимое отклонение частоты получается менее 0,005%.

В действительности отклонение несущей частоты от номинального значения является величиной переменной и зависит от целого ряда причин: от температуры в помещении радиопередатчика, напряжения его источников питания, квалификации дежурного персонала, неточности градуировки передатчика и других эксплуатационных факторов.

В табл. 3 приведены данные, характеризующие стабильность некоторых союзных и зарубежных радиовещательных станций за 1947—1948 гг., полученные пунктом контроля частот при Министерстве связи СССР. Анализ статистических данных многомесячных наблюдений за отклонениями несущей частоты радиовещательных станций Советского Союза показывает возможность отбора ряда из них, для которых максимальные отклонения частот несущей не превышают 0,01% от ее номинального значения, что вполне удовлетворяет требованиям для поверки и градуировки частотоизмерительной аппаратуры в промышленном и звуковом диапазоне частот.

Выбранная для установки ЦНИЭЛ радиостанция с несущей частотой 200 кГц дает вполне достаточную стабильность (0,01—0,005%) для поверки и градуировки стрелочных частотомеров

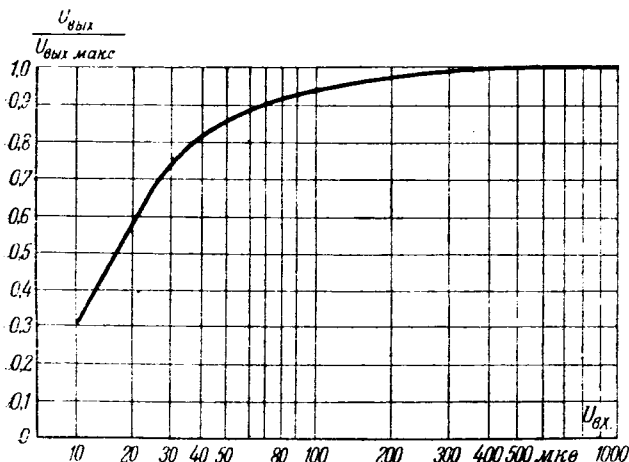


Рис. 4. Рабочая характеристика амплитудного ограничителя.

Стабильность частот некоторых радиовещательных станций СССР

Таблица 3

Шифр стан-ция	Диапазон	Максимальное отклонение частоты от номинальной, %							
		июль	август	1947 сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	1948 январь	
1	Средневолновый . .	+0,0006	+0,0013	+0,0014	+0,00036	+0,0006	-0,00096	+0,0006	Союзные радиостан-ции
3	Длинноволновый . .	+0,0175	+0,015	-0,015	+0,011	+0,01	+0,055	+0,0075	
7	Длинноволновый . .	+0,0029	+0,0029	+0,0029	+0,0034	+0,0029	+0,0057	+0,0081	
16	Коротковолновый . .	-0,0042	-0,0073	-0,00157	-0,0067	-0,0042	-0,0042	-0,0053	Зарубеж-ные радио-станции
C	Средневолновый . .	+0,00048	+0,0004	-0,0032	+0,0004	+0,0004	+0,00016	+0,00032	
D	Средневолновый . .	-0,00062	+0,00033	-0,00134	+0,0009	+0,00045	+0,00027	-0,00045	
E	Длинноволновый . .	—	—	+0,001	-0,002	0	-0,0025	+0,0015	

и вместе с тем позволяет производить сравнение посредством промежуточной частоты.

Теперь остановимся на вопросе точности и чувствительности принятого метода измерений.

Как следует из выражения (1) и (2), измеряемая частота равна:

$$f_{изм} = \frac{f_{эм}}{M \cdot N} \quad (5)$$

Пользуясь разложением Тейлора для функции трех переменных и ограничивая его двумя первыми членами, получим:

$$\frac{\Delta f_{изм}}{f_{изм}} = \frac{\Delta f_{эм}}{f_{эм}} - \frac{\Delta M}{M} - \frac{\Delta N}{N} \quad (6)$$

Если отсчет взят при неподвижных фигурах Лиссажу и, следовательно, при точно определенных кратностях частот M и N , то

$$\Delta M = 0 \text{ и } \Delta N = 0.$$

В этом случае частота промежуточного генератора исключается и формула (6) получает вид:

$$\frac{\Delta f_{изм}}{f_{изм}} = \frac{\Delta f_{эм}}{f_{эм}}, \quad (7)$$

т. е. точность измерений определяется только стабильностью эталонной частоты $f_{эм}$.

В действительности, однако, могут иметь место небольшие отклонения параметров M и N от их номинальных значений, под действием чего фигуры Лиссажу медленно двигаются. Источниками погрешностей могут также явиться неточности вычисления значений измеряемой частоты (табл. 2), хотя ее вычисление может быть произведено с любой заданной степенью точности. Погрешность же из-за медленного движения фигур можно оценить аналитически.

Определим допустимое скольжение фигур Лиссажу при отклонении измеряемой частоты на 0,01% от номинального значения.

Если отношение сравниваемых частот отличается от отношения целых чисел, фигура Лиссажу начинает вращаться.

Частота скольжения f_s или число оборотов, совершаемых фигурой в секунду, могут быть определены из следующей формулы:

$$f_s = f_1 - \frac{f_2}{k}, \quad (8)$$

где $k = \frac{f_{2н}}{f_{1н}}$; f_1 и f_2 — сравниваемые частоты;

$f_{1н}$ и $f_{2н}$ — номинальные значения сравниваемых частот.

Имея в виду выражения (8), найдем скольжения при сравнении частот в соответствии с выражениями (1) и (2):

$$f_{s1} = f_{np} - \frac{f'_{эм}}{M}; \quad (9)$$

$$f_{s2} = f_{изм} - \frac{f'_{np}}{N}. \quad (10)$$

Из (9) и (10) следует, что

$$f'_{изм} = f_{s2} + \frac{f_{s2}}{N} + \frac{f'_{эм}}{MN}. \quad (11)$$

При $f_{s1} = f_{s2}$, т. е. при равных скольжениях скольжение фигуры, образованной эталонной и промежуточной частотами, будет сказываться на точности отсчета в N раз меньше, чем скольжение фигуры, образованной промежуточной и измеряемой частотами.

Для частот в диапазоне 44—56 гц величина N в установке ЦНИЭЛ изменяется от 55 до 69, следовательно, при работе надо обращать внимание, главным образом, на скольжение низкочастотной фигуры.

Определим погрешность для случая скольжения только одной низкочастотной фигуры. Будем измерять смещение фигуры Лиссажу на половину периода. Тогда $f_{s2} = \frac{n}{2N}$, где n — число полупериодов, на которое смещается фигура за 1 сек., а $2N$ — номинальное число полупериодов.

Получая в формуле (11) $f_{s1} = 0$, находим

$$f_{s2} = f'_{изм} - \frac{f_{эм}}{M \cdot N}.$$

Выражая величину скольжения f_{s2} в процентах, от измеряемой величины, получим $f_{s2} = A \frac{f_{изм}}{100}$, где A — допустимая погрешность в процентах, откуда

$$n = \frac{2NA}{100} f_{изм} = \frac{2A}{100} f_{np}.$$

Это выражение показывает, что скольжение, выраженное в полупериодах за 1 сек., не зависит от измеряемой величины. При $A = 0,01\%$, $n = 0,62$ полупериода в 1 сек. Такая скорость скольжения фигуры практически легко достижима.

Результаты эксплуатации описанной образцовой установки показали, что частоты генерато-

ров измеряемой и промежуточной частот поддерживались вполне стабильно для того, чтобы можно было добиться быстрой и достаточно продолжительной одновременной остановки обеих фигур Лиссажу на экране катодно-лучевой трубки. Изображение обеих фигур яркое и отчетливое.

За время эксплуатации на этой установке вполне удовлетворительно были градуированы стрелочные частотомеры, изготовленные в ЦНИЭЛ. В среднем на это требуется от 20 до 60 мин. для одно- и двухпредельных приборов, используя по 8—12 опорных точек.



Литература

1. Ю. М. Элькинд. Детекторные частотомеры. Электричество, № 5, 1949.
2. Richardson. Градуировка частотомеров высокой чувствительности. GER, т. 39, стр. 501, 1936.
3. Н. А. Маренин. Стробоскопический метод измерения технических частот. Электрические исследования и измерения. Под редакцией Н. А. Маренина. ГОНТИ, 1939.
4. I. E. Allen. Точный и чувствительный частотомер с широкой шкалой. E1. World, т. 123, № 1, 1945.
5. А. А. Куликовский. Частотная модуляция в радиовещании и в радиосвязи. Госэнергоиздат, 1947.
6. Главный регламент радиосвязи. ГИЛ, 1940.

[6. 5. 1949]

Построение круговых диаграмм для регулирования ионных преобразователей

Кандидат техн. наук, доц. Г. А. РИВКИН

Московский энергетический институт им. Молотова

При анализе работы установок с регулируемыми выпрямителями в очень многих случаях практики допустимо пренебречь падением напряжения в дуге, нарастающим током и активными потерями в питающем трансформаторе, и искажением формы кривой первичного тока и напряжения. Из сравнения выражения при этих допущениях для потерь напряжения вследствие регулирования и перекрытия с выражением для коэффициента мощности при тех же условиях следует, что $\cos \varphi = \frac{U_{d1}}{U_{a0}}$, где U_{a0} — выпрямленное напряжение при угле регулирования α с учетом перекрытия; U_{a0} — выпрямленное напряжение холостого хода при полностью открытых сетках.

Если представить U_{d1} и U_{a0} в виде условных векторов, то зависимость между ними изобразится круговой диаграммой диаметра U_{a0} , а U_{d1} будет представлять собой вектор, образующий угол φ с вектором U_{a0} и конец которого перемещается при регулировании по окружности круговой диаграммы.

Такая же круговая диаграмма действительна для векторов активной составляющей U_{1a} и полного значения первичного напряжения U_1 . Если подобрать соответствующие масштабы, обе круговые диаграммы совмещаются. Такая «совмещенная» круговая диаграмма представлена на рис. 1.

Пользование совмещенной круговой диаграммой. Круговая диаграмма дает возможность весьма просто графически определить угол пе-

Анализ поведения установки с регулируемым ионными преобразователями помощью существующих методов требует большой вычислительной работы и не нагляден. Предлагается графо-аналитический метод, в основе которого лежит построение круговой диаграммы, применимость которой доказывается для рассматриваемых цепей. Даны примеры приложения предлагаемого метода.

рекрытия γ и угол регулирования α (рис. 2), основываясь на следующих положениях:

1. Поворот вектора напряжения U_{d1} на угол γ соответствует двойному значению потери на-

пряжения вследствие перекрытия ($2\Delta U_x$).

2. Потеря напряжения, обусловленная перекрытием, не зависит от угла регулирования α , а только от тока нагрузки.

Эти положения позволяют свести метод определения γ к следующему (рис. 2): от вектора выпрямленного напряжения при холостом ходе $U_{a0} = OA$ с углом α отнимается $AB = 2\Delta U_x$; отрезком OB делается засечка на окружности круговой диаграммы (точка B'). Тогда векторы OB' и OB образуют искомый угол γ . Следовательно, на той же диаграмме рис. 2 угол α определяется, как угол между вектором $OA = OC + CA = U_{d1} + \Delta U_x$ и U_{a0} .

Угол φ определяется как угол между U_{d1} и U_{a0} , что лежит в основе построения круговой диаграммы. Значения $\cos \varphi$ находятся на вертикальной оси (рис. 2).

Анализ режимов работы. Нагрузка состоит из переменного активного сопротивления R , ток I_d поддерживается постоянным. (Пример: формовка выпрямителя). Для поддержания постоянного тока выпрямленное напряжение U_{d1} должно меняться пропорционально R . Следовательно, окружность U_{d1} круговой диаграммы является вместе с тем окружностью для активных сопротивлений, и отрезки, изображающие U_{d1} , одновременно изображают R (рис. 3).

Активная мощность $N_a = U_{a0} I_d \cos \varphi = \text{const} \cos \varphi$ также изображается условными векторами, концы которых перемещаются по окружности. Круговые диаграммы

для N_a и U_{d1} совпадают при соответствующем выборе масштабов.

Реактивная мощность

$$N_p = U_{d0} I_d \sin \varphi = \text{const} \sin \varphi.$$

Нетрудно доказать, что мощности N_p представляются векторами, концы которых перемещаются по окружности с диаметром, перпендикулярным диаметру основной окружности (рис. 3).

Нагрузка состоит из активного сопротивления R и противо-э. д. с.; ток поддерживается постоянным (пример: питание цепи электролиза). В данном режиме

$$R = \frac{U_{d1}}{I_d} - \frac{E}{I_d} = c U_{d1} - cE,$$

$$E = U_{d1} - I_d R = U_{d1} - c_1 R.$$

Следовательно, при $E = \text{const}$ R определяется из круговой диаграммы, как разность между вектором $c U_{d1}$, конец которого перемещается по окружности круговой диаграммы, и постоянной величиной cE , изображаемой на диаграмме окружностью с центром в начале координат.

При $R = \text{const}$ E определяется из круговой диаграммы как разность между вектором U_{d1} и постоянной величиной $c_1 R$.

Величины N_a , N_p и N устанавливаются, как в предыдущем случае работы, на активное сопротивление и при отсутствии противо-э. д. с.

Электропривод с постоянным моментом ($M_d = \text{const}$). При регулировании числа оборотов в минуту шунтового двигателя с независимым и постоянным возбуждением изменением подводимого к якору напряжения скорость двигателя почти пропорциональна этому напряжению ($n \approx k U_{d1}$). Следовательно, скорость может быть измерена величиной вектора U_{d1} , конец которого перемещается по основной окружности диаграммы. Учитывая, что между моментом и током в двигателе существует прямая пропорциональность, для определения интересующих нас электрических величин применяется вышерассмотренное построение круговой диаграммы для режима регулирования $I_d = \text{const}$.

Регулирование на постоянную активную мощность (некоторые режимы питания электролиза и электропривода). При неизменном значении подводимого к выпрямителю напряжения ($U_{d0} = \text{const}$) $I_d \cos \varphi = \text{const}$. Следовательно, конец вектора I_d перемещается по прямой, перпендикулярной вектору U_{d0} , представляющему одновременно активную мощность. По направлению вектор I_d совпадает с U_{d1} . Одновременно в том же масштабе, в каком вектор U_{d0} изображает активную мощность, N_p представляется длиной перпендикуляра, опущенного от конца вектора I_d на U_{d0} . Кажущаяся мощность N представляется вектором I_d в масштабе мощностей.

Электропривод с вентиляторным моментом. Число оборотов в минуту почти пропорционально приложенному к якору напряжению и $M_d = c_1 U_{d1}^2$.

Вследствие пропорциональности между током в якоре и моментом

$$I_d = c_2 M_d = c_3 U_{d1}^2.$$

Отсюда получаем выражение для активной мощности

$$N_a = U_{d1} I_d = c_4 U_{d1}^3.$$

Пользуясь этими соотношениями, круговую диаграмму для данного случая можно построить следующим образом:

1. Наносят окружность круговой диаграммы, по которой перемещаются концы вектора $U_{d1} = U_{d0} \cos \alpha$, и одновременно определяют число оборотов в минуту привода, так как $n = c_0 U_{d1}$.

2. Вектор U_{d1} проектируется на направление U_{d0} ; проекция представляет собой вектор I_d , так как

$$I_d = c_3 U_{d0}^2 \cos^2 \varphi = c_5 U_{d1} \cos \varphi$$

(U_{d0} является величиной постоянной).

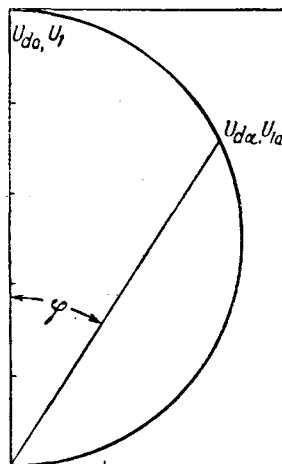


Рис. 1. Совмещенная круговая диаграмма.

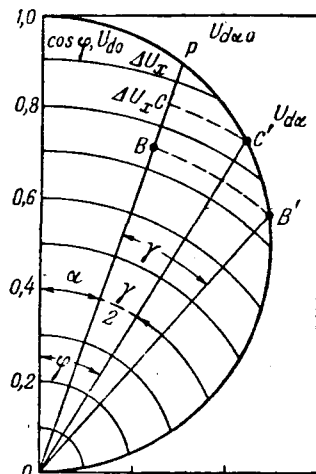


Рис. 2. Определение угла перекрытия γ , регулирования α и коэффициента мощности $\cos \varphi$.

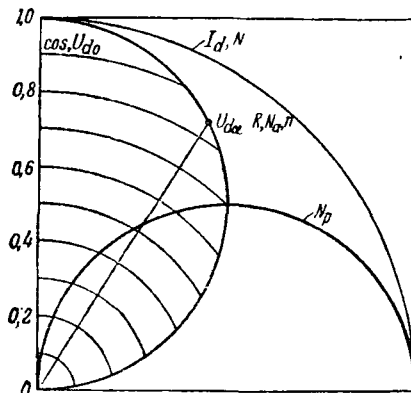


Рис. 3.

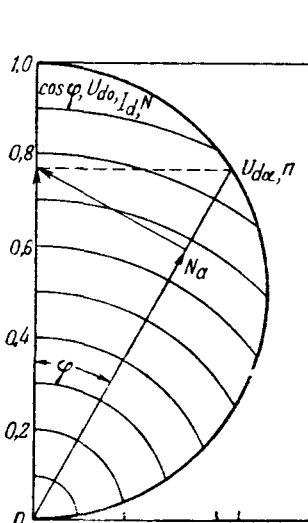


Рис. 4. Регулирование при вентиляторном моменте $M_d = c n^2$.

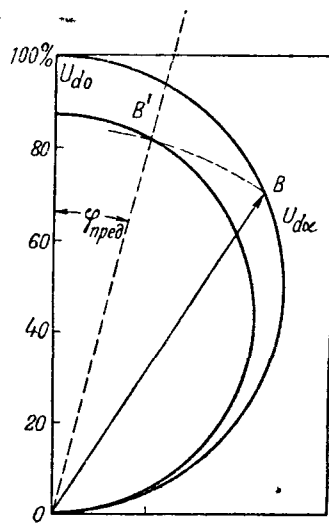


Рис. 5. Регулирование при предельном значении $\cos \varphi$.

3. Вектор I_d в свою очередь проектируется на направление U_{d1} ; проекция представляет собой вектор активной мощности N_a , так как

$$N_a = c_4 U_{d0}^3 \cos^3 \varphi = c_6 I_d \cos \varphi;$$

кажущаяся мощность

$$N = U_{d0} I_d = c_7 I_d$$

изображается тем же вектором, что и I_d .

Реактивная мощность изображается длиной перпендикуляра, опущенного от конца вектора I_d на направление U_{d2} .

Электропривод с моментом, пропорциональным числу оборотов ($M_d = cn$). В соответствии со сказанным выше:

$$M_d = c_1 U_{d2}; \quad I_d = c_3 U_{d2}; \quad N_a = U_{d0} I_d \cos \varphi; \quad N = U_{d0} I_d.$$

Написанные выше соотношения показывают, что векторы U_{d0} , M_d , n , I_d , N могут быть представлены одним вектором, конец которого перемещается по основной окружности круговой диаграммы. Активная мощность N_a измеряется проекцией вектора N на ось U_{d0} , а реактивная N_p длиной перпендикуляра, опущенного с конца вектора N на направление U_{d0} .

Решение некоторых частных задач. При

осуществлении заданного режима приходится часто считаться с необходимостью ограничения предельного значения какой-либо электрической величины, чаще всего коэффициента мощности или реактивной мощности. Для поддержания нужного режима и соблюдения поставленных ограничений необходимо менять (уменьшать) подводимое к выпрямителю напряжение переменного тока, соответственно чему одновременно изменяется U_{d0} . Круговая диаграмма позволяет легко определить снижение напряжения, необходимое для удовлетворения поставленных условий. Покажем это на примере сохранения предельного значения $\cos \varphi$ (рис. 5).

Пусть линия OA определяет предельное значение $\cos \varphi$; вектор $OB = U_{d2}$ представляет собой необходимое для осуществления заданного режима выпрямленное напряжение.

Новая окружность круговой диаграммы, соответствующая искомой величине напряжения холостого хода U'_{d0} , проходит через точку B .

[29. 11. 1948].



Частотные искажения при воспроизведении однократных процессов

Инж. Т. Я. ХОДОРОВ

Ленинград

Исследование механических, электрических, акустических, оптических и других явлений часто требует воспроизведения, передачи и регистрации однократных импульсов

сложного вида. При этом особое место занимает анализ частотных или дифференциальных искажений, обусловливаемых электрическими цепями схемы или датчиком. В общем случае задача сводится к решению дифференциального уравнения вида:

$$ir + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt = u, \quad (1)$$

в котором зависимость $u = f(t)$ задается в виде графика, что затрудняет аналитическое отыскание частного решения приведенного уравнения.

Среди возможных решений уравнения (1) рассмотрим частные случаи, приняв предварительно что имеет место одно из следующих условий:

- 1) пропорциональная передача процесса;
- 2) дифференцирование процесса;
- 3) интегрирование процесса.

Отыскание частного значения тока i выполним способом последовательного приближения, применяемым при решении интегральных уравнений. Так, например, для случая пропорциональной передачи процесса в уравнении (1) ток i приближенно равен:

$$i \approx \frac{u}{r} \quad (2)$$

Излагается метод определения частотных искажений при воспроизведении однократных процессов, характер которых задается в виде графика или сложной аналитической зависимости. Применение метода иллюстрируется рассмотрением электрической цепи, составленной из сопротивления и емкости. акселерографа и вибрографа.

Следовательно,

$$\left. \begin{aligned} L \frac{di}{dt} &\approx \frac{L}{r} \frac{du}{dt}, \\ \frac{1}{C} \int idt &\approx \frac{1}{rC} \int u dt. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Подставляя значения $L \frac{di}{dt}$ и $\frac{1}{C} \int idt$ в уравнение (1), найдем более точное значение:

$$i \approx \frac{1}{r} \left[u - \frac{L}{r} \frac{du}{dt} - \frac{1}{rC} \int u dt \right]. \quad (4)$$

Используя новое значение i и повторяя подобные рассуждения, получим в общем виде:

$$i = Ku - \left[A_1 \frac{du}{dt} - A_2 \frac{d^2 u}{dt^2} + A_3 \frac{d^3 u}{dt^3} - \dots \right] - \left[B_1 \int u dt + B_2 \int \int u dt^2 + B_3 \int \int \int u dt^3 - \dots \right]. \quad (5)$$

где K ; A_1 ; A_2 ; A_3 ; ... B_1 ; B_2 ; B_3 ... — постоянные коэффициенты.

При выполнении условия (2) ряд производных и ряд интегралов составляются из убывающих членов.

Рассмотрим случай дифференцирования процесса, когда:

$$i \approx C \frac{du}{dt}. \quad (6)$$

Рассуждая аналогично предыдущему, трудно получить:

$$i = A_1 \frac{du}{dt} - A_2 \frac{d^2u}{dt^2} - A_3 \frac{d^3u}{dt^3} + A_4 \frac{d^4u}{dt^4} + \dots \quad (7)$$

и, наконец, для случая, когда:

$$i \approx \frac{1}{L} \int_0^t u dt \quad (8)$$

имеем

$$i = B_1 \int_0^t u dt - B_2 \int_0^t \int_0^t u dt^2 - B_3 \int_0^t \int_0^t \int_0^t u dt^3 + \\ + B_4 \int_0^t \int_0^t \int_0^t \int_0^t u dt^4 + \dots \quad (9)$$

Покажем на примерах применение изложенного метода к расчету элементов приборов, воспроизводящих однократные процессы заданной формы.

1. Рассмотрим цепь, составленную из сопротивления r и емкости C , включенную на переменное напряжение \bar{u} .

Пользуясь описанным методом, установим значение выходного напряжения на сопротивлении и емкости.

а) Напряжение на сопротивлении \bar{u}_r для случая, когда произведение rC достаточно велико (емкостный переход в усилителе на сопротивлениях) и, следовательно,

$$u_r \approx u. \quad (10)$$

При этом полное значение u_r

$$u_r = u - \frac{1}{rC} \int_0^t u dt + \frac{1}{(rC)^2} \int_0^t \int_0^t u dt^2 - \\ - \frac{1}{(rC)^3} \int_0^t \int_0^t \int_0^t u dt^3 + \dots \quad (11)$$

Имея изменение напряжения \bar{u} , в результате графического интегрирования, возможно получение всех членов выражения (11), сумма которых дает искомое значение u_r . На рисунке дан примерный вид такого построения.

б) Зависимость u_r от u для случая, когда произведение rC мало (емкостный дифференцирующий контур) и, следовательно,

$$u_r \approx rC \frac{du}{dt}. \quad (12)$$

При этом полное значение u_r

$$u_r = \left[u - rC \frac{du}{dt} + (rC)^2 \frac{d^2u}{dt^2} - \right. \\ \left. - (rC)^3 \frac{d^3u}{dt^3} + \dots \right]_{t=0} e^{-\frac{t}{rC}} + rC \frac{du}{dt} - (rC)^2 \frac{d^2u}{dt^2} + \\ + (rC)^3 \frac{d^3u}{dt^3} + \dots \quad (13)$$

в) Напряжение на конденсаторе \bar{u}_c для случая, когда произведение rC велико (емкостный интегрирующий контур) и, следовательно,

$$u_c \approx \frac{1}{rC} \int_0^t u dt. \quad (14)$$

При этом полное значение \bar{u}_c

$$u_c = \frac{1}{rC} \int_0^t u dt - \frac{1}{(rC)^2} \int_0^t \int_0^t u dt^2 + \frac{1}{(rC)^3} \int_0^t \int_0^t \int_0^t u dt^3 - \dots \quad (15)$$

г) Зависимость u_c от u для случая, когда произведение rC мало (влияние междуэлектродных емкостей в усилителе) и, следовательно,

$$u_c \approx u. \quad (16)$$

При этом полное значение u_c

$$u_c = - \left[u - rC \frac{du}{dt} + (rC)^2 \frac{d^2u}{dt^2} - \right. \\ \left. - (rC)^3 \frac{d^3u}{dt^3} + \dots \right]_{t=0} e^{-\frac{t}{rC}} + u - rC \frac{du}{dt} + \\ + (rC)^2 \frac{d^2u}{dt^2} - (rC)^3 \frac{d^3u}{dt^3} + \dots \quad (17)$$

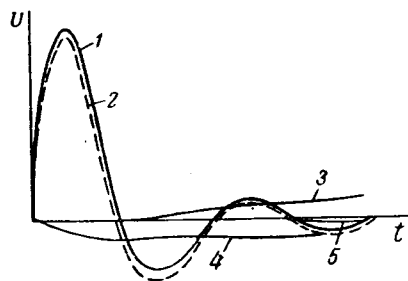
2. Определим относительное перемещение y массы акселерографа m под влиянием ускорения j . Рассматривая простейший случай (пренебрегая массой пружины и всеми видами трения), выпишем уравнение движения

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \bar{k}^2 y = j, \quad (18)$$

где \bar{K} —собственная частота подвижной системы.

При соблюдении условия:

$$y \approx \frac{1}{k^2} j \quad (19)$$



Частотные искажения при воспроизведении однократных процессов.

$$1 - U; 2 - U_r = U - \frac{1}{rC} \int_0^t u dt + \\ + \frac{1}{(rC)^2} \int_0^t \int_0^t u dt^2 - \frac{1}{(rC)^3} \int_0^t \int_0^t \int_0^t u dt^3; \\ 3 - \frac{1}{(rC)^2} \int_0^t \int_0^t u dt^2; 4 - - \frac{1}{rC} \int_0^t u dt; \\ 5 - - \frac{1}{rC^3} \int_0^t \int_0^t \int_0^t u dt^3.$$

полное значение относительного перемещения

$$y = \frac{1}{k^2} \left\{ \left[j - \frac{1}{k^2} \frac{d^3 j}{dt^3} + \frac{1}{k^4} \frac{d^4 j}{dt^4} - \frac{1}{k^6} \frac{d^6 j}{dt^6} + \dots \right] - \left[j - \frac{1}{k^2} \frac{d^3 j}{dt^3} + \frac{1}{k^4} \frac{d^4 j}{dt^4} - \frac{1}{k^6} \frac{d^6 j}{dt^6} + \dots \right]_{t=0} \cos kt - \left[\frac{1}{k} \frac{dj}{dt} - \frac{1}{k^3} \frac{d^3 j}{dt^3} + \frac{1}{k^5} \frac{d^5 j}{dt^5} - \frac{1}{k^7} \frac{d^7 j}{dt^7} + \dots \right]_{t=0} \sin kt \right\} \quad (20)$$

Установим аналогичное соотношение для вибрографа, содержащего жидкостный демпфер. Выпишем уравнение движения

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2h \frac{dy}{dt} + k^2 y = - \frac{d^2 x}{dt^2}. \quad (21)$$

Полагая наличие критического успокоения, что соответствует $h=k$, и принимая условие

$$y \approx -x, \quad (22)$$

получим полное значение перемещения:

$$y = - \left[x - 2k \int_0^t x dt + 3k^2 \int_0^t \int_0^t x dt^2 - 4k^3 \int_0^t \int_0^t \int_0^t x dt^3 + 5k^4 \int_0^t \int_0^t \int_0^t \int_0^t x dt^4 - \dots \right]. \quad (23)$$

В заключение отметим, что применение описанного метода может иметь место и в случае, если график изменения напряжения $y=f(t)$ [уравнение (1)] выражается аналитически, так как и при этом в ряде случаев имеет место значительное упрощение задачи.

[27. 7. 1943]



Температурные напряжения в роторных стержнях двигателей с глубоким пазом

Кандидат техн. наук Б. Г. ОРКИНА

Центральная научно-исследовательская электротехническая лаборатория
Министерства электростанций

Температурные напряжения в роторных стержнях. При пуске двигателя ток в роторном стержне оттесняется к открытой стороне паза. Неравномерное распределение тока сопровождается неравномерным нагревом стержня по его высоте, и если стержень лежит свободно, то он изгибается. Когда роторные зубцы и короткозамыкающие кольца препятствуют изгибу стержня, то в нем под действием неравномерного нагрева возникают механические напряжения: верхние наиболее горячие слои оказываются сжатыми, а нижние — растянутыми. Напряжение в какой-либо точке сечения

$$\sigma_x = \alpha E (t_x - t_{cp}), \quad (1)$$

где α — коэффициент линейного расширения;

E — модуль упругости;

t_x — температура в данной точке;

t_{cp} — средняя температура стержня.

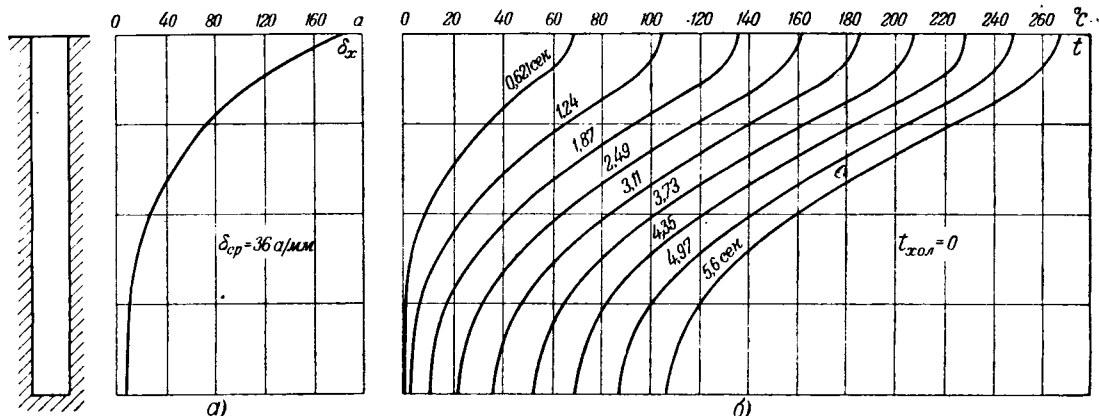
Для определения величины σ_x необходимо знать закономерность распределения температуры по высоте стержня.

Температурное поле стержня зависит от рас-

пределения потерь при пуске, удельного сопротивления, теплопроводности и теплоемкости материала стержня и от условий охлаждения. Все эти факторы зависят от температуры и времени и взаимно влияют друг на друга. Если попытаться найти распределение температуры по сечению стержня математически с учетом всех указанных факторов, то получились бы весьма сложные уравнения, решение которых в общем виде поставило бы значительные трудности. Задача значительно упрощается, если найти распределение температуры при неизменной частоте и плотности тока, пренебрегая теплоотдачей к стали и к концам стержня и принимая постоянными удельное сопротивление, теплоемкость и теплопроводность. Затем влияние каждого из указанных факторов можно оценить в отдельности.

Температурные градиенты при постоянной частоте и плотности тока. На рис. 1,б показан процесс адиабатического нагрева стержня при распределении тока по рис. 1,а. Кривые построены по методу конечных разностей. В первый момент после включения тока температура верхних слоев стержня нарастает весьма быстро, а в

Рис. 1.
Распространение
тепловой волны
по сечению
прямоугольного
медного стержня
высотой 40 мм.



нижних медленно. Это объясняется тем, что в верхних слоях выделяется во много раз больше тепла, чем в нижних слоях. В начале температурные градиенты еще невелики и теплопроводность не играет существенной роли. По мере нагрева стержня температурные градиенты возрастают и увеличивается тепловой поток, переходящий из верхних слоев в нижние. Этот процесс продолжается до тех пор, пока приращение температуры всех слоев стержня станет одинаковым. Это наступает в момент, когда сумма тепла, выделяющегося в каком-либо слое, и тепла, притекающего в него из смежных слоев, становится величиной постоянной для всех слоев. Температурные градиенты при этом имеют определенную, установившуюся величину, зависящую только от кривой распределения потерь по высоте стержня. При дальнейшем нагреве нарастает средняя температура стержня, но форма кривой температуры не изменяется — она перемещается лишь параллельно самой себе.

Установившиеся градиенты могут быть найдены из дифференциального уравнения теплопроводности

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{c\gamma} \frac{d^2t}{dx^2} + \frac{\delta_x^2 \rho}{c\gamma}. \quad (2)$$

При установившихся градиентах первые производные температуры по времени постоянны для любой точки по высоте стержня:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\delta_{cp}^2 k}{c\gamma} = \text{const.}$$

Если подставить это значение производной в уравнение (2), то из него исключается время, и после сокращения

$$\frac{d^2t}{dx^2} = \frac{\rho}{\lambda} (\delta_{cp}^2 k - \delta_x^2), \quad (3)$$

где ρ — среднее удельное сопротивление, $\text{ом}/\text{см}^3$;
 λ — коэффициент теплопроводности, $\text{вт}/^\circ\text{C см}$;
 k — коэффициент добавочных потерь;
 δ_x — плотность тока в точке x , $\text{а}/\text{см}^2$;
 δ_{cp} — средняя плотность тока, $\text{а}/\text{см}^2$;
 x — расстояние от нижней грани стержня, см ;
 t — температура, $^\circ\text{C}$.

Подставив в уравнение (3) плотность тока δ_x из известного выражения для k и произведя интегрирование два раза, находим:

$$T_x = \frac{\rho \delta_{cp}^2}{\lambda} \left[\frac{k(x+a)^2}{2} - \frac{2a^2 [\text{ch } 2\alpha(x+a) - \cos 2\alpha(x+a)]}{\text{ch } 4\alpha a - \cos 4\alpha a} \right]; \quad (4)$$

здесь T_x — установившаяся разность между температурой в точке x и температурой нижнего слоя стержня;

a — половина высоты стержня;

$$a = 2\pi \sqrt{\frac{fb10^{-9}}{\rho d}};$$

f — частота;

b — ширина стержня;

d — ширина паза.

x — расстояние от середины стержня по его высоте, см .

Разность температуры между верхним и нижним слоями стержня может быть определена, если в формулу (4) подставить $x = +a$:

$$T_{x=+a} = T_{\text{макс}} = \frac{2\delta_{cp}^2 \rho a^2 (k-1)}{\lambda}. \quad (5)$$

На рис. 2 и 3 даны вычисленные по формулам (4) и (5) перепады температуры. Из кривых следует, что при увеличении высоты стержней температурные градиенты быстро возрастают. В стержнях высотой в 40—50 мм при больших плотностях тока установившиеся перепады температуры достигают 200—300° C.

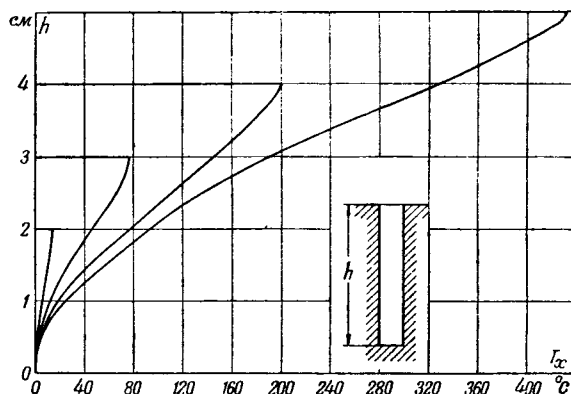


Рис. 2. Кривые распределения температуры по высоте h медного стержня при установившихся перепадах для $\delta_{cp} = 40 \text{ а}/\text{мм}^2$.

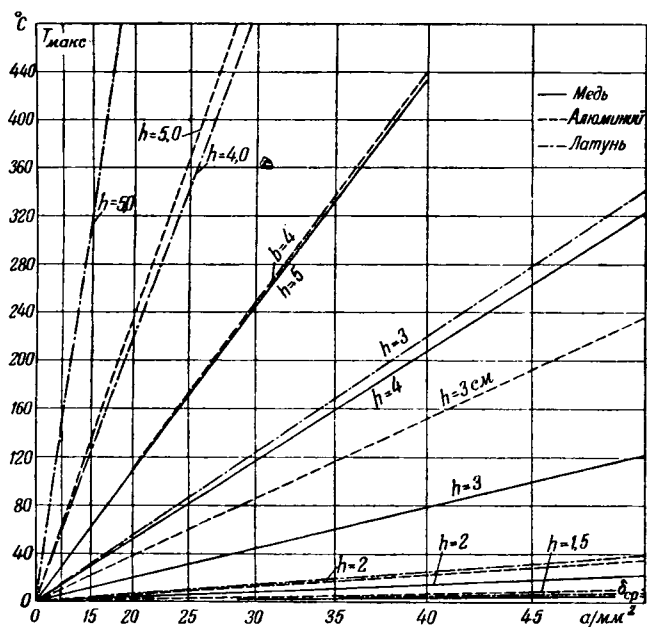


Рис. 3. Максимальные установившиеся перепады температуры T_{\max} в зависимости от средней плотности тока $\delta_{\text{ср}}$ при $f = 50$ гц для стержней различной высоты h

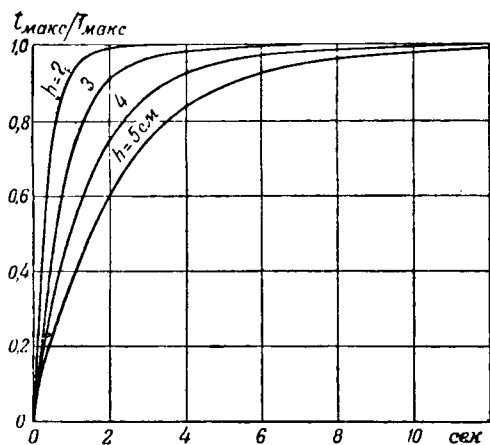


Рис. 4. Нарастание максимального перепада температуры во времени для медных стержней различной высоты h .

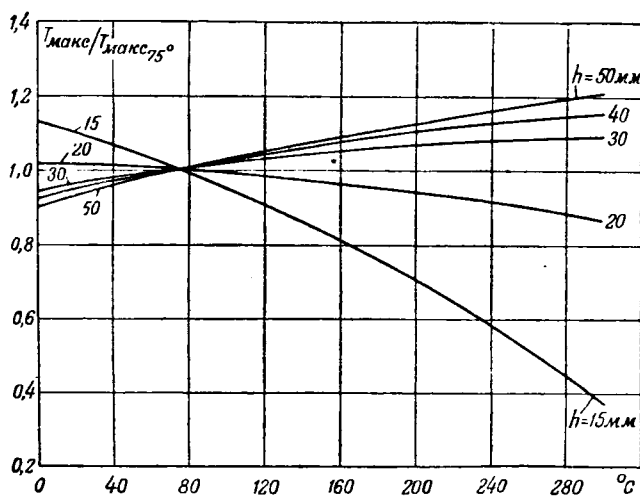


Рис. 5. Максимальный установившийся перепад T_{\max} в зависимости от средней температуры стержня при $f = 50$ гц.

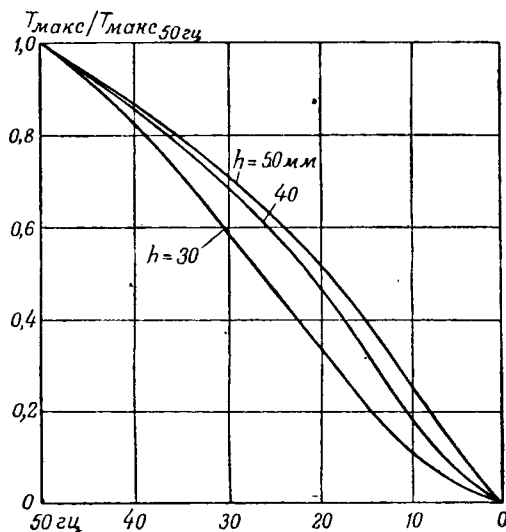


Рис. 6. Максимальный установившийся перепад T_{\max} в зависимости от частоты.

С какой же скоростью устанавливаются такие перепады температуры? Величины, близкие к этим значениям, достигаются в течение нескольких секунд. Чем ниже стержень, тем быстрее перепады в нем приближаются к установившимся значениям. Кривые нарастания перепадов во времени, полученные по методу конечных разностей, показаны на рис. 4.

Влияние на перепады температуры сделанных допущений. Кривые рис. 2, 3 и 4 вычислены без учета теплоотдачи в окружающую среду при значениях удельного сопротивления, теплопроводности и теплоемкости, соответствующих 75°C и для частоты 50 гц.

Изменение средней температуры стержня влияет на его среднее удельное сопротивление, вследствие чего установившиеся перепады будут несколько иные. При высоте стержней, большей 25 мм, повышение средней температуры вызывает увеличение температурных перепадов. На рис. 5 даны кривые, с помощью которых можно ввести соответствующие поправки в перепады, найденные по рис. 3.

Вызванное неравномерным нагревом стержня довольно значительное повышение удельного сопротивления его верхних слоев не оказывает существенного влияния на распределение тока, так как активные сопротивления отдельных слоев весьма малы по сравнению с индуктивными. «Температурное вытеснение» вызывает некоторое уменьшение плотности тока в верхних слоях, но при этом потери в них не уменьшаются, а наоборот, увеличиваются. Это объясняется тем, что уменьшение плотности тока в этих слоях с избытком компенсируется увеличением их омического сопротивления; наоборот, в нижних слоях квадрат плотности тока растет быстрее, чем омическое сопротивление. В результате, при неравномерном нагреве потери во всех слоях стержня оказываются выше, чем при равномерном нагреве при той же средней температуре и средней плотности тока. Увеличение

потерь в стержне в свою очередь вызывает возрастание перепадов температуры. Практически неравномерный нагрев увеличивает перепады, вычисленные по формуле (5), до $6 \div 8\%$.

Связанное с нагревом стержня уменьшение его теплопроводности является причиной некоторого увеличения перепадов температуры. Однако, одновременно возрастет теплоемкость стержня, вследствие чего нарастание перепадов по времени несколько замедляется. В количественном отношении влияние этих факторов незначительно и им можно пренебречь.

Как показано ниже, максимальные перепады в роторных стержнях при пуске достигаются не позже, чем через 5 сек. от начала пуска. Теоретические расчеты и экспериментальное исследование показали, что за этот промежуток времени теплоотдача вызывает уменьшение температурных градиентов не более чем на $25 \div 30\%$.

При понижении частоты вытеснение тока ослабляется и установившиеся перепады температуры уменьшаются (рис. 6).

Для проверки теоретических расчетов было произведено измерение перепадов температуры на макете глубокого паза. Температура измерялась термопарами, припаянными к верхней и нижней граням стержня. Через стержни пропускался ток до 3000 а при 50 гц. Ряд опытов с неизолированными стержнями, а также со стержнями, изолированными в тепловом отношении, показали полное совпадение экспериментальных данных с теоретическими.

Температурные градиенты в стержнях при пуске. При пуске двигателя скорость его возрастает в соответствии с кривой моментов двигателя и с характеристикой привода. По мере повышения скорости вращения частота тока в роторе уменьшается, несколько падает и пусковой ток. Отсюда следует, что при пуске перепады температуры в стержне меньше, чем установившиеся перепады, вычисленные для начальных пусковых значений частоты и плотности тока. При этом перепады температуры тем больше, чем дольше двигатель разворачивается на малых скоростях.

Приведенные ниже кривые построены для двигателей, имеющих пусковые характеристики по типу двигателей ГАМО завода «Электросила».

Изменение разности t_{\max} между температурой верхней и нижней граней стержня при пуске показано на рис. 7. В начале пуска эта разность нарастает; затем, достигнув некоторого максимума в соответствии с понижением частоты, разность температуры уменьшается. Из кривых следует, что при пуске максимальные перепады достигаются не позже, чем через 2 ÷ 5 сек. от начала пуска. В зависимости от длительности пуска и высоты стержня максимальные перепады температуры достигают $65 \div 90\%$ от установившихся перепадов при начальных пусковых значениях частоты и плотности тока.

На рис. 8 максимальные перепады, достигнутые во время пуска, построены в функции длительности пуска. Так же как на рис. 7, t_{\max} выражено в долях T_{\max} при 50 гц и начальной

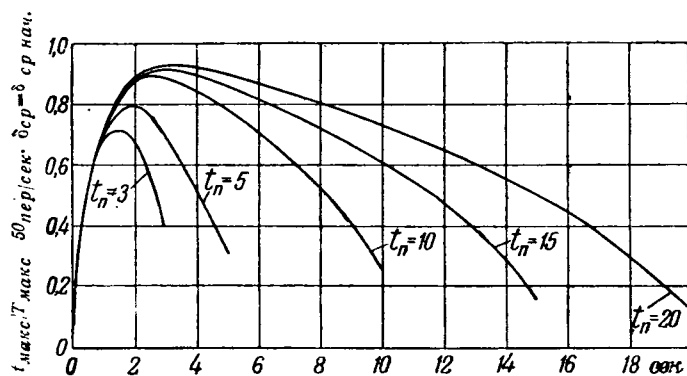


Рис. 7. Изменение максимального перепада t_{\max} в процессе пуска в стержне высотой, равной 50 мм, при пуске механизма с постоянным моментом сопротивления $M_{\text{ном}}$ (t_n — длительность пуска в сек.).

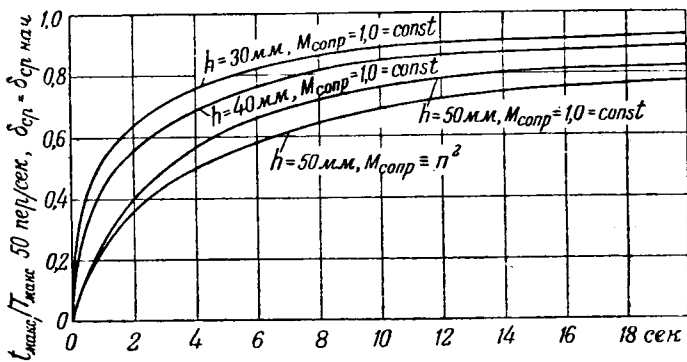


Рис. 8. Максимальный перепад t_{\max} в прямоугольном медном стержне в зависимости от длительности пуска. Перепад выражен в долях максимального установившегося перепада при 50 гц и начальной пусковой плотности тока.

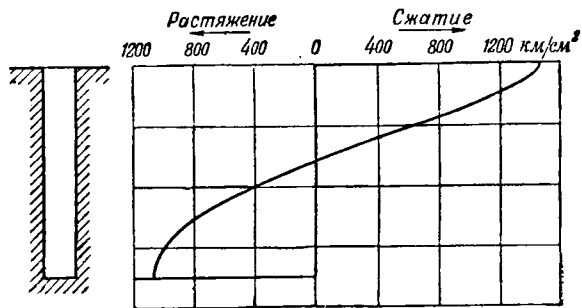
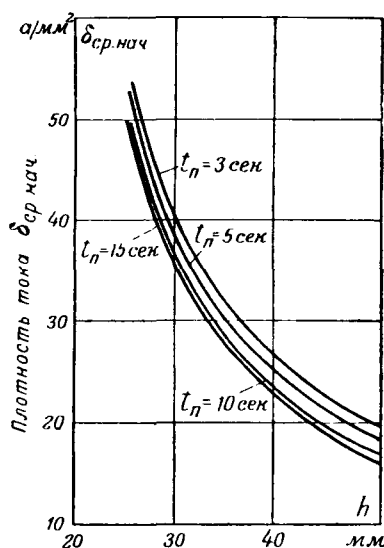


Рис. 9. Эпюра механических температурных напряжений в стержне двигателя ГАМО 13-A-74 при пуске длительностью 10 сек.; $d_{\text{cp}} = 48 \text{ а/мм}^2$; $t_{\max} = 133^\circ$.

пусковой плотности тока. С помощью этих кривых и кривых рис. 3 и 5 могут быть определены максимальные перепады, создающиеся в стержнях двигателей при пуске. Для учета влияния теплоотдачи и неравномерного повышения омического сопротивления следует помножить полученные таким способом перепады температуры на коэффициент $0.8 \div 0.85$.

Максимальные механические напряжения в стержнях при пуске. На рис. 9 показана эпюра напряжений, построенная по формуле (1), для стержня двигателя ГАМО 13-A-74 при пуске длительностью в 10 сек. При построении этой кривой так же, как и кривых рис. 10, принято,



Фиг. 10. Допустимые средние плотности тока (в начале пуска) в медных прямоугольных стержнях различной высоты при пуске механизма с постоянным моментом сопротивления $M_{ном}$ (t_n — длительность пуска).

что модуль упругости E является величиной постоянной, равной $1,15 \cdot 10^6$ кг/см². В действительности это не совсем точно, так как модуль упругости зависит как от температуры стержня, так и от механической и термической обработки и от нагрева при предыдущих пусках. Однако, для практических расчетов, связанных с проектированием стержней глубокого паза, и в особенности в области упругих деформаций, можно в первом приближении принять модуль упругости постоянным. При этом напряжения, определяемые формулой (1), следует рассматривать как некоторые условные расчетные напряжения, которые, однако, могут служить достаточным критерием для оценки вероятных механических напряжений в стержнях.

Как видно из рис. 9, наибольшие механические напряжения возникают в верхнем слое стержня. Исходя из формул (1), (4) и (5), нетрудно доказать, что для прямоугольного стержня это напряжение

$$\sigma_{\max} = 0,58 \alpha E t_{\max} \quad (6)$$

где t_{\max} — разность температуры между верхней и нижней гранью стержня.

Из формулы можно найти, что при больших плотностях тока механические напряжения в высоких стержнях могут достигать очень большой величины.

Причина аварий двигателей ГАМО. Произведенная автором проверка 20 типов двигателей серии ГАМО выпуска 1935—1936 гг. (мощностью от 75 до 430 кВт) показала, что у большинства двигателей этой серии высота стержней и пусковые плотности тока выбраны так, что условные расчетные механические напряжения, образующиеся при пуске, превышают 500 кг/см².

У шести четырехполюсных двигателей 12-го и 13-го габаритов напряжения лежат в пределах

800—1400 кг/см². Как раз для этих габаритов и наблюдалось наибольшее число аварий и они были сняты с производства в первую очередь. Если учесть, что предел упругости для меди равен 500 кг/см², то ясно, что указанные высокие напряжения должны вызвать в стержнях значительные остаточные деформации. При связанных с пусками повторных нагревах и охлаждениях стержней эти деформации влекут за собой полное их разрушение. Разрушение должно начинаться с верхних, наиболее напряженных слоев стержней, что и подтверждается практикой эксплуатации двигателей ГАМО, у которых были обнаружены трещины в верхней части стержней. Если же стержень сидит в пазу с некоторым зазором и под действием неравномерного нагрева может несколько изогнуться, то значительные напряжения могут возникнуть на его концах, в месте сопряжения с кольцами. В результате этого стержни вырываются из колец или происходит поломка колец. Это наиболее частая авария у двигателей ГАМО. Часто пытаются бороться с такими авариями, усиливая короткозамыкающие кольца. Однако, это ведет к тому, что наиболее слабым местом оказывается уже не кольца, а стержни. Поэтому после усиления колец обычно начинают ломаться сами стержни, нередко в глубине паза. Такое повреждение значительно серьезнее, чем поломка кольца, так как его труднее обнаружить, и это требует разборки почти всей беличьей клетки.

Единственно правильный способ ремонта аварийных двигателей ГАМО — это уменьшение высоты роторных стержней. Для этой цели можно разделить стержни по высоте на две части, т. е. заменить одну беличью клетку двумя с отдельными короткозамыкающими кольцами. Если выполнить обе пары колец из меди, то пусковые и рабочие характеристики двигателя не изменятся, но температурные напряжения снижаются более чем в два раза.

Допустимые плотности тока. Для того чтобы двигатели работали надежно, напряжения в стержнях не должны превышать предела упругости для данного металла.

Если для меди принять расчетное допустимое напряжение равным 500 кг/см², то начальные пусковые плотности тока не должны превышать значений, указанных на рис. 10. Эти кривые построены для пуска механизмов с постоянным моментом сопротивления, равным номинальному моменту двигателя. При пуске механизмов вентиляторного типа плотности тока могут быть на 5÷6% выше. Кривые рис. 10 могут быть использованы при проектировании беличьих клеток двигателей с глубоким пазом.

При проведении исследования автор воспользовался ценными советами и указаниями проф. Г. Н. Петрова и канд. техн. наук Л. Г. Мамиконяна.

Литература

1. Rossmaler. Der Temperaturverlauf in einem Stab eines Stromverdrängungs Käfigläufmotors in Abhängigkeit von Ort und Zeit während des Hochlaufes A. f. E., 1938.

[8. 7. 1948]

Влияние ионных токов на устойчивость дуги возбуждения ртутного выпрямителя

Кандидат техн. наук Ф. И. БУТАЕВ

Всесоюзный электротехнический институт им. Ленина

В некоторых конструкциях ртутных выпрямителей наблюдаются погасания дуги возбуждения, особенно частые при больших нагрузках главных анодов. При исследовании причин этого явления было замечено, что если аноды возбуждения выпрямителя, питаемые переменным током, находятся в плазме главной дуги, то они дают обратные зажигания, несмотря на незначительное на них напряжение.

Одной из причин погасания дуги возбуждения в ртутных выпрямителях является ионный ток, идущий в непроводящий период от плазмы главной дуги на анод возбуждения. Изучена зависимость ионного тока от различных факторов. Указано, что экранирование анодов возбуждения (при возбуждении на переменном токе) дает снижение ионного тока.

Анод возбуждения выпрямителя в его непроводящий период можно рассматривать как зонд, на который идет ионный ток от плазмы главной дуги. Величина ионного тока зависит от размеров и расположения анодов возбуждения

и от условий разряда в выпрямителе.

Из кинетической теории газов известно, что плотность ионного тока

$$j^+ = \frac{1}{4} e N^+ w^+,$$

где e — элементарный заряд;

N^+ — концентрация ионов;

w^+ — средняя скорость ионов.

Из этого уравнения видно, что плотность ионного тока не зависит от напряжения на аноде возбуждения. Количество ионов, попадающих на поверхность анода, определяется законом хаотического движения ионов, но при неизменной плотности ионный ток может возрасти с увеличением напряжения анода. Это объясняется тем, что вокруг анода образуется зона пространственного заряда. Ионы, входящие в эту зону, попадают на поверхность анода. Таким образом, пространственный заряд как бы увеличивает поверхность анода. Толщина пространственного заряда зависит от напряжения анода возбуждения:

$$a = k \frac{U^{3/4}}{(N^+ w^+)^{1/2}},$$

где k — постоянная;

U — отрицательное напряжение на аноде возбуждения.

Как видно из этого выражения, толщина пространственного заряда a обратно пропорциональна корню квадратному из ионного тока. На ионный ток толщина пространственного заряда действует так, будто радиус анода возбуждения увеличивается на величину a . Кроме хаотического ионного тока при небольшом отрицательном напряжении на аноде возбуждения имеет место и электронный ток. Часть электронов из плазмы попадает на поверхность анода. Для внешней цепи ионный ток течет от анода возбуждения к катоду. Электронный ток течет в обратном направлении, т. е. от катода к аноду.

Кроме ионного и электронного тока следует еще сказать о вторичном электронном токе. Ионы, бомбардируя анод, выбивают из него электроны¹. Коэффициент вто-

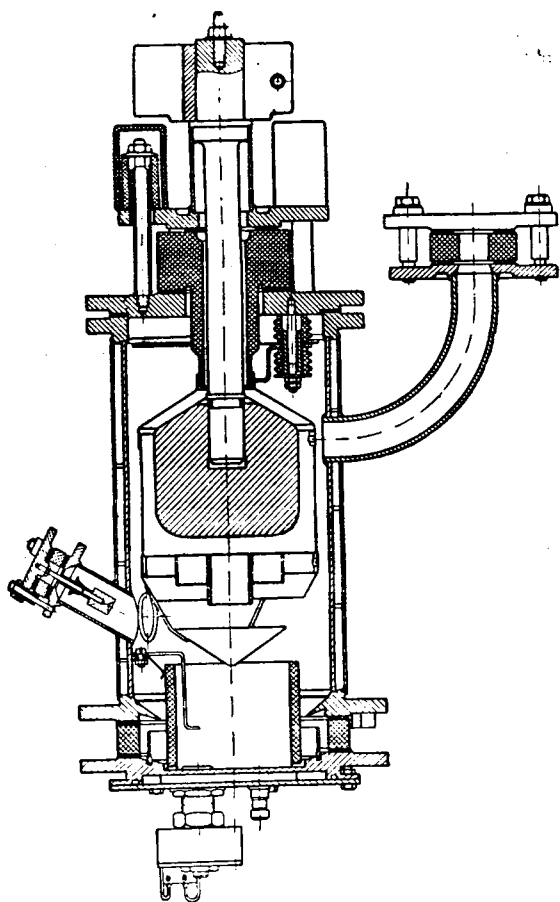


Рис. 1. Цилиндр выпрямителя РМНВ—200×6, на котором проводилось экспериментальное исследование.

¹ Эмиссия электронов облегчается наличием на поверхности анодов возбуждения пленок окислов и других загрязняющих соединений.

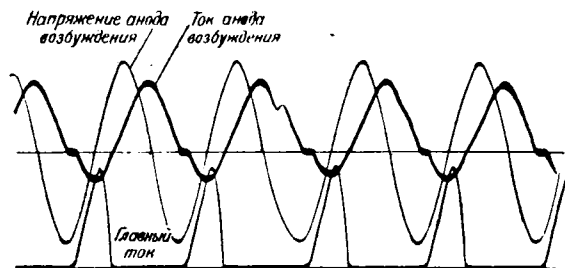


Рис. 2.

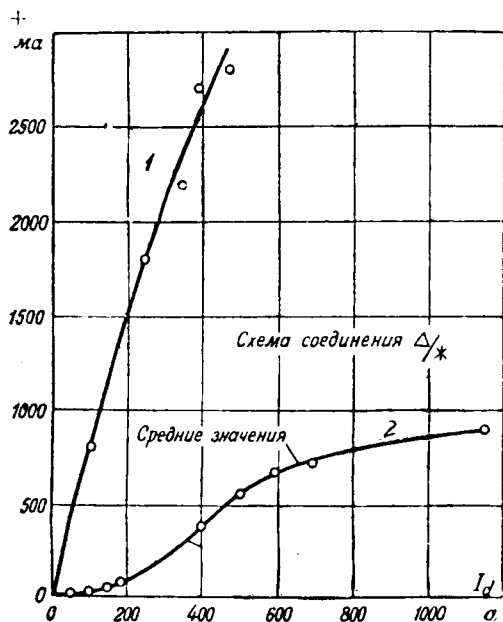


Рис. 4. Ионный ток анода возбуждения в зависимости от главного тока.

1 — мгновенное значение, $E = -100$ в; 2 — среднее, $E = -103$ в.

ричной эмиссии зависит от условий разряда. Направление вторичного электронного тока совпадает с направлением ионного тока.

Приведенные рассуждения относятся к точкам плазмы дуги, достаточно удаленным от катода. Вблизи от катода явления более сложны и приведенные выражения не действительны.

Количественно правильно определить значения токов на анод возбуждения в «непроводящий» период трудно, так как величины, входящие в приведенные формулы, плохо поддаются определению. Особенно это касается законов, по которым совершается движение ионов на анод. Вопрос влияния ионного тока на устойчивость дуги возбуждения был изучен экспериментально. Экспериментальное исследование проводилось на одном из цилиндров выпрямителя РМНВ — 200×6 , описанного в журнале «Электричество», № 11, 1946. На рис. 1 показан разрез цилиндра.

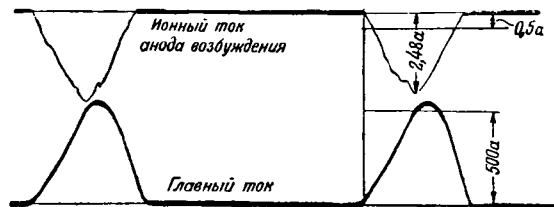


Рис. 3.

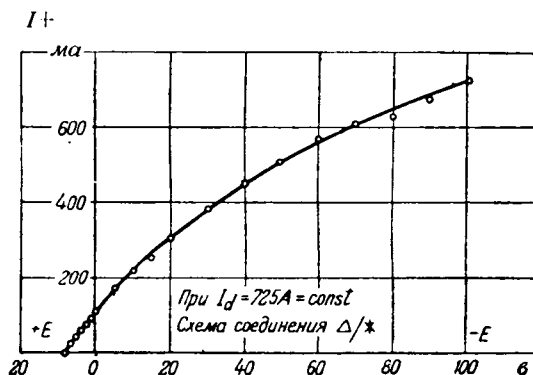


Рис. 5. Ионный ток анода возбуждения (среднее значение в зависимости от обратного напряжения).

На рис. 2 показана осциллограмма тока одного из анодов возбуждения и тока главного анода. Схема возбуждения выпрямителя описана в упомянутой статье. Как видно из кривой тока возбуждения, в непроводящий период на анод возбуждения идет обратный ток, соизмеримый с прямым током. Обратный ток вызывает сильное увеличение пульсаций тока возбуждения и погасание анода. При сильном возрастании обратного тока вторичная эмиссия становится столь интенсивной, что на поверхности анода возбуждения образуется катодное пятно, т. е. возникает явление обратного зажигания на анодах возбуждения, что приводит к погасанию дуги возбуждения.

На рис. 3 показана осциллограмма обратного (ионного) тока и главного тока при постоянном отрицательном напряжении на аноде возбуждения. Ионный ток имеет ту же форму кривой, что и главный ток. Построенная по этой осциллограмме кривая зависимости мгновенных значений главного и ионного токов показана на рис. 4. На том же рисунке показана зависимость среднего значения ионного тока от анодного тока.

На рис. 5 показана зависимость ионного тока (среднее значение) от отрицательного напряжения на аноде возбуждения при неизменном токе главного анода. Кривая показывает, что обратный ток растет одновременно с отрицательным потенциалом на аноде возбуждения.

Из изложенного следует, что аноды возбуждения при системе возбуждения на переменном токе следует выполнять так, чтобы их ионный ток в непроводящий период был бы, по возможности, мал. Этого можно достичь соответствующим экранированием анодов возбуждения. При системе возбуждения на постоянном токе вопрос об ионном токе совершенно снимается и такая система является наиболее надежной.

[15.4.1949]



Волновые характеристики линий при высоких напряжениях

Кандидат техн. наук, доц. А. И. ДОЛГИНОВ

Всесоюзный заочный энергетический институт

Грозная защита электрических установок основана на теории волновых процессов, возникающих на линиях при грозовых разрядах. Особенностью этих процессов являются высокие градиенты электрического поля, приводящие к импульсной короне на проводах.

Развиваемая в настоящей статье теория волновых процессов при высоких напряжениях устанавливает основные волновые характеристики коронирующей линии — волновое сопротивление линии и скорость распространения волны. Дается оценка этих характеристик и в области очень высоких напряжений, возникающих при прямых ударах молнии в линию.

На основе найденных характеристик коронирующей линии могут быть решены такие задачи грозовой защиты, как нахождение потенциала провода или троса при прямом ударе молнии, затухание и искажение бегущей волны на линии.

Теория искажения бегущей волны напряжением и тока вдоль длинной линии строится на основе рассмотрения потока электромагнитной энергии вдоль линии и учета расходования этой энергии на образование короны. Вводится также учет тепловых потерь в проводниках.

Выводы работы относятся к волнам отрицательной полярности, в основном интересующим нас с практической точки зрения (отрицательная полярность токов молнии). В соответствии с задачами исследования рассматривается лишь искажение фронта волны.

Искажение и затухание волн вследствие короны. Уравнение фронта волны вдоль линии с потерями в общей форме можно записать в виде:

$$U = F\left(t - \frac{s}{v}\right).$$

Это уравнение означает, что точки волны с неизменным напряжением U пробегают путь s за время t со скоростью $v \leq c$ (c — скорость света). Обозначим через P энергию, проходящую в единицу времени через плоскость, нормальную к проводу. Эта величина выражается через напряжение и ток в рассматриваемой точке линии соотношением $P = Ui$ [Л. 1].

Рассматривается волновое уравнение длинной линии при учете потерь на импульсную корону. Вводятся основные волновые характеристики, используемые в расчетах грозовой защиты линий электропередачи.

Электромагнитное поле на линии с потерями уже не является плоским. Потери покрываются за счет потока электромагнитной

энергии, направленного к проводу, что означает появление составляющей S_q вектора Умова-Пойнтинга (рис. 1). С S_q связаны составляющие H и E_x (E_x направлено вдоль оси линии). Продольная составляющая E_x искажает плоское поле волны.

Проводим на расстоянии s от начала координат две плоскости I и II , связанные с линией и отстоящие на расстоянии ds . За время dt через I протекает энергия $W_I = P \cdot dt$ и через II — энергия $W_{II} = \left(P + \frac{\partial P}{\partial s} ds\right) dt$. Энергия, расходуемая на участке линии I — II , равна, следовательно:

$$W_I - W_{II} = \frac{\partial P}{\partial s} ds dt.$$

Энергия $W_I - W_{II} = dW_n$ расходуется на покрытие потерь на том же участке линии ds за время dt . Обозначим через W_n удельную

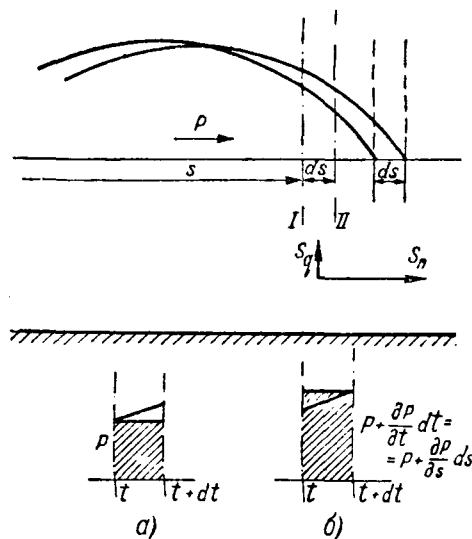


Рис. 1.

а — энергия, протекающая через сечение I ; б — через сечение II .

мощность потерь (потери на единицу длины линии в единицу времени). Тогда $dW_n = W_n ds dt$. Сокращая на $ds dt$, можно написать уравнение энергетического баланса в следующем виде:

$$-\frac{\partial P}{\partial s} = W_n. \quad (1)$$

Поскольку в уравнение (1) ds и dt уже не входят, P и W_n можно отнести к заданной точке линии.

Определим затухание и искажение волны вследствие импульсной короны. Импульсная корона возникает на проводах при напряжениях волны, превышающих начальное напряжение линии U_0 . Как показали исследования В. В. Гей и С. Л. Зайенца в ЛПИ [Л. 2, 3], импульсная корона отрицательной полярности развивается практически без запаздывания; при малых временах в пределах фронта волны заряды короны при неизменном напряжении можно считать неподвижными. Это означает, что каждому значению напряжения $U > U_0$ на фронте волны соответствует определенная линейная плотность заряда коронирующего провода на единицу длины σ_k . Было показано, что в электрическом поле коронирующего провода потенциал в любой точке поля, а следовательно, и электростатический коэффициент связи k_k^* , пропорциональны заряду проводов на единицу длины σ_k . Между k_k^* , σ_k и U существует линейная зависимость [Л. 3, 4]. На проводах нормального для линий электропередачи сечения эта зависимость имеет вид [Л. 4]:

$$\frac{k_k^*}{k_0} = \frac{\sigma_k}{\sigma_0} = 1 + BU. \quad (2)$$

Здесь индекс k показывает наличие, а 0 — отсутствие короны. Звездочкой отмечается электростатический режим.

Линейная зависимость $\frac{\sigma_k}{\sigma_0}$ была установлена В. В. Гей и С. Л. Зайенцем на моделях линий (масштаба примерно 1:3) вплоть до разрядного напряжения установки (2500–3000 кВ).

Из (2) следует, что

$$\sigma_k = \sigma_0 + \sigma_{cs}, \text{ где } \sigma_{cs} = \sigma_0 BU = C_0 BU^2. \quad (3)$$

Следовательно, полный заряд провода (на единицу длины) при наличии короны равен сумме заряда геометрической емкости провода σ_0 и заряда σ_{cs} , связанного коронным чехлом.

На фронте бегущей по линии волны при возрастании напряжения энергия электромагнитного поля расходуется на образование импульсной короны. Какова физическая природа этих потерь? Это, во-первых, тепловые потери, сопровождающие ионизационные процессы. Основную же роль играют „потери“ на создание электрического поля, связанного с неподвижным зарядом σ_{cs} коронного чехла. Расходование энергии ведет к резкому искажению фронта волны.

На хвосте волны при снижении напряжения происходит частичная отдача запасенной энергии. Тепловые потери и потери на излучение, понятно, необратимы. Но запасенная электростатическая энергия по мере рассеивания и рекомбинации зарядов коронного чехла частично возвращается в сеть, создавая подъем напряжения на хвосте волны.

Развитие импульсной короны означает протекание тока короны, стекающего с провода в радиальном направлении. Этот ток (на единицу длины провода) равен $i_{kp} = \frac{\partial \sigma_{cs}}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{cs}}{\partial U} \cdot \frac{\partial U}{\partial t}$. В уравнении энергетического баланса (1) значение удельной мощности потерь W_n равно в данном случае напряжению U , умноженному на ток утечки i_{kp} :

$$W_n = U i_{kp} = U \frac{\partial \sigma_{cs}}{\partial U} \frac{\partial U}{\partial t}.$$

Дифференцируя значение σ_{cs} , находим

$$W_n = 2C_0 BU^2 \frac{\partial U}{\partial t}.$$

В левой стороне (1) стоит выражение $-\frac{\partial P}{\partial s}$, где $P = Ui$. Обратимся к рис. 1. Поскольку обычно $S_q \ll S_n$, пренебрежем в количественном расчете мощности P потоком энергии, связанным с S_q . При таком допущении справедливо соотношение $i = \frac{U}{z_0}$ для плоской волны на линии без потерь. Следовательно, $P = Ui = \frac{U^2}{z_0}$ и $\frac{\partial P}{\partial s} = \frac{2}{z_0} U \frac{\partial U}{\partial s}$. Сокращая на U и подставляя $\frac{i}{z_0 C_0} = c$, получаем уравнение

$$c \frac{\partial U}{\partial s} = BU \frac{\partial U}{\partial t}. \quad (4)$$

Решение этого дифференциального уравнения в частных производных 1-го порядка дает:

$$U = F\left(t - BU \frac{s}{c}\right). \quad (5)$$

Функция F определяется формой волны в начале линии. Время t отсчитывается от момента прихода волны в точку s . Выражение (5) показывает, что при заданной форме волны $U = F(t)$ в точке $s = 0$, форма волны в точке s определяется сдвигом в сторону больших времен ординат напряжения ($U > U_0$) на время

$$t_c = BU \frac{s}{c}. \quad (6)$$

Вывод (5) и (6) относится к точкам фронта волны, т. е. к участку развития короны при возрастании напряжения. При снижении напряжения, т. е. на хвосте волны, исходное соотношение (2) уже недействительно.

Осциллограммы затухания волны (рис. 3) показывают, что амплитуда волны примерно

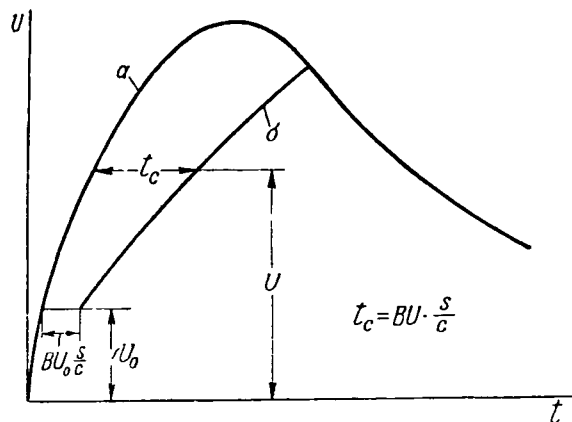


Рис. 2. Расчет искажения волны вследствие короны.

a—первоначальная форма волны в точке $s=0$, *b*—форма фронта волны после пробега расстояния s .

перемещается по хвосту волны первоначальной формы.

Отсюда следует простое правило расчета искажения волн вследствие короны (рис. 2). Если задана исходная волна $U=F(t)$, то форма волны после пробега расстояния s определяется смещением точек фронта при напряжениях $U > U_0$ на отрезки $t_c = BU \frac{s}{c}$. Пересечение кривой фронта с хвостом волны первоначальной формы определяет амплитуду волны в точке s .

На рис. 3 построение по формуле (6) сопоставлено с известными осциллограммами, снятыми в ХЭТИ А. К. Потужным и С. М. Фертиком [Л. 5, 6].

Согласно (6) смещение t_c на фронте волны пропорционально напряжению U ($U > U_0$). С небольшими отклонениями этот вывод соответствует наблюдаемому по осциллограммам искажению фронта волн.

Подбором устанавливаем численное значение коэффициента B в пределах $0,4 \div 0,6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{кВ}}$

для линий 110 и 35 кВ. При отрицательной полярности затухание волны вследствие омического сопротивления сглаживает слабо выраженную ступеньку при напряжении U_0 .

В исходном соотношении (2) коэффициент B определял линейную зависимость $\frac{\sigma_k}{\sigma_0} = f(U)$.

Высота линии ХЭТИ (110 кВ), на которой производилось исследование волновых процессов, лежит в пределах $7 \div 12$ м. Для таких высот коэффициент $B_{(-)}$, определенный опытным путем в статических условиях [Л. 3, 4], лежит в пределах $0,5 \div 0,65 \cdot 10^{-3}$ со средним значением $0,57 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{кВ}}$.

Хорошее совпадение значений $B_{(-)}$, найденных по осциллограммам затухания волн и по коэффициенту связи в статических условиях, подтверждает исходные положения теории, в которой эмпирический коэффициент $B_{(-)}$, опре-

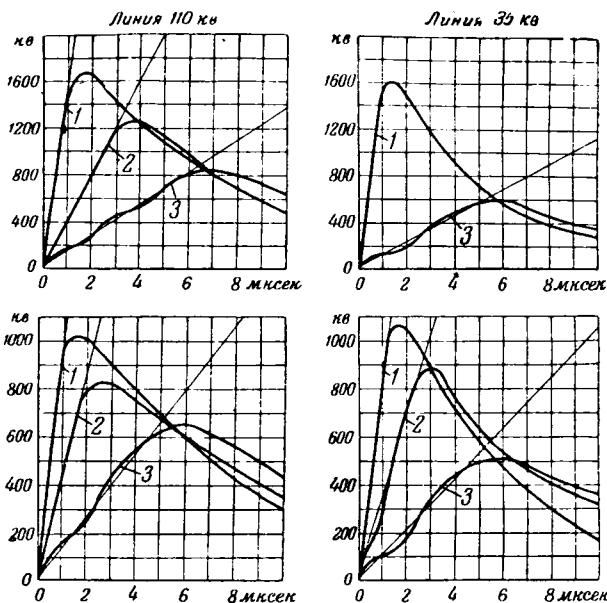


Рис. 3. Затухание волн отрицательной полярности.

1—исходная волна; 2—волна после пробега $s=1$ км; 3— $s=5$ км. Тонкие прямые расчетные формы фронта волн: $t_c = BU \frac{s}{c}$; $B = 0,4 \div 0,6 \cdot 10^{-3} 1/\text{кВ}$.

деляемый в статических условиях, был перенесен в уравнение волнового режима.

Под действием короны происходит резкое снижение крутизны фронта волны. Предположим, что косоугольный фронт исходной волны выражается уравнением $U=at$. Из построения на рис. 2 видно, что для любого U действительно соотношение

$$U = at = a_x(t + t_c) = a_x\left(t + Bat \frac{s}{c}\right).$$

Отсюда определяем крутизну фронта волны после пробега расстояния s

$$a_s = \frac{a}{1 + Ba \frac{s}{c}}. \quad (7)$$

Перейдем в выражении (5) к времени t^* , отсчитываемому от начала процесса в точке $s=0$. Время $t = t^* - \frac{s}{c}$. Подставляя в (5), получаем волновое уравнение (опускаем индекс y)

$$U = F\left(t - \frac{s}{v}\right), \quad (8)$$

где $v = \frac{c}{1 + BU}$ (для $U > U_0$).

По смыслу волнового уравнения v есть фазовая скорость перемещения напряжения U . На линии без потерь v неизменно и равно скорости света c ; волна при движении вдоль линии сохраняет свою форму. При наличии короны точки волны с напряжением $U > U_0$ имеют скорость $v < c$. Это ведет к искажению волны.

Учет активных потерь в сопротивлениях проводников. При высоких удельных сопротивлениях почвы затухание волн вследствие активных потерь в земле того же порядка, что и

затухание вследствие короны. Определим расчетную зависимость искажения фронта волны под действием суммарных потерь на корону и в сопротивлениях проводников (без учета поверхностного эффекта). Уравнение энергетического баланса энергии

$$-\frac{\partial P}{\partial s} = W_{нк} + W_{пз}.$$

Удельная мощность потерь на корону $W_{нк}$ равна $2C_0BU^2\frac{\partial U}{\partial t}$. Если считать попрежнему в первом приближении $i = \frac{U}{z_0}$, то

$$W_{пз} = i^2 R_0 = \frac{U^2}{z_0^2} R_0,$$

где R_0 — активное сопротивление проводников. Подставляя $P = \frac{U^2}{z_0}$ и производя сокращения, получаем дифференциальное уравнение

$$-\frac{\partial U}{\partial s} = \frac{R_0}{2z_0} U + \frac{BU}{c} \frac{\partial U}{\partial t}. \quad (9)$$

Для решения этого уравнения относительно U необходимо задаться формой исходной волны. Положим, что в начале линии волна имеет косоугольный фронт $U = at$. После пробега расстояния s фронт волны сохраняет (при принятых допущениях) косоугольную форму и определяется выражением

$$a_s = \frac{ae^{-\beta s}}{1 + Ba\frac{s}{c}e^{-\beta s}}, \quad (10)$$

где

$$\beta = \frac{R_0}{2z_0}.$$

При $R_0 = 0$ мы возвращаемся к формуле (7). При $B = 0$, т. е. отсутствии потерь на корону, приходим к известной формуле:

$$U_s = U_\kappa e^{-\frac{R_0 s}{2z_0}}. \quad (11)$$

В практических расчетах сопротивление земли $R_0 = R_z$ следует определять, принимая длину фронта волны за четверть периода гармоника колебания. При таком допущении $R_z = \frac{22,5}{h} \sqrt{\frac{\rho}{t_{\phi p}}}$. Здесь h — высота линии над землей, м; ρ — удельное сопротивление почвы, ом·см и $t_{\phi p}$ — длина фронта волны, мксек.

Полное уравнение искажения волн вследствие короны. В предыдущих расчетах мы принимали соотношение $i = \frac{U}{z_0}$, справедливое на линиях с потерями лишь в качестве первого приближения.

Перейдем к полному соотношению тока и напряжения бегущей волны в координатах y и x (рис. 4). Здесь y — путь пробега начала фронта волны; x — расстояние от начала фронта до рассматриваемой точки волны.

Уравнение энергетического баланса (1) в координатах y, x имеет вид:

$$-\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y}(Ui) = W_n, \quad (12)$$

поскольку для заданного x [соответствующего плоскостям I и II (рис. 1)] $ds = dy$.

Установим связь тока i с напряжением U . Можно написать $\frac{\partial i}{\partial s} = -\frac{\partial z_\kappa}{\partial U} \cdot \frac{\partial U}{\partial t}$. Вводим те-

кущую координату \hat{x} в отличие от x , для которого ищется связь U и i .

Для данного s

$$\frac{\partial U}{\partial t} = c \left(\frac{\partial U}{\partial \hat{x}} + \frac{\partial U}{\partial y} \right).$$

Для заданного пробега волны y ($ds = -d\hat{x}$)

$$i_x = c \int_0^x \sigma'_\kappa(U) \left(\frac{\partial U}{\partial \hat{x}} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) d\hat{x}, \quad (13)$$

поскольку $i_{x=0} = 0$. Подстановка (13) в (12) приводит к общему интегродифференциальному уравнению волнового процесса на линии с потерями:

$$-\frac{\partial}{\partial y} \left[U \int_0^x \sigma'_\kappa(U) \left(\frac{\partial U}{\partial \hat{x}} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) d\hat{x} \right] = W'_\kappa(U) \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right). \quad (14)$$

Как показывает анализ, соотношения (5) — (8) являются первым приближением в итерационном методе решения уравнения (14). Это приближение справедливо лишь до напряжений порядка 1000 кВ, когда заряд q_{cs} , связанный коронным чехлом, еще мал по сравнению с зарядом q_0 геометрической емкости провода.

Значительный интерес представляют расчетные формулы для волн очень высокого напряжения, характерных для прямого удара молнии в провод или трос в середине пролета. Полное экспериментальное определение волновых процессов при этих напряжениях в настоящее время неосуществимо. Тем больший интерес представляет теоретическое исследование вопроса. С. М. Фертик и А. К. Потужный [Л. 5] заметили, что с повышением напряжения волны выше 2000 кВ обнаруживается тенденция к прекращению и, далее, к снижению роста относительного затухания. Это означает, что с возрастанием напряжения имеет место отклонение от прямолинейного закона $t_c = U$ в сторону постоянства t_c или постоянства v . Как

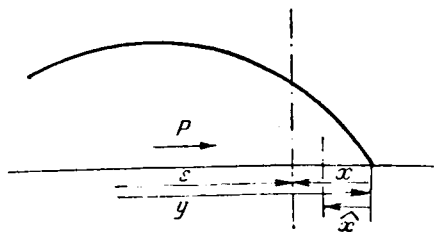


Рис. 4.

будет показано ниже, решение дифференциального уравнения коронирующей линии действительно приводит к постоянству v при возрастании U .

Ищем решение уравнения (14) по заданной кривой σ_k в области $[U]$, где эта кривая определена. Для нелинейного интегродифференциального уравнения (14) это решение реализуемо лишь приближенными методами. Однако, возможно решение уравнения (14) в замкнутом виде в предельном случае $U \rightarrow \infty$. Если учесть, что, с другой стороны, решение (14) в первом приближении при малых напряжениях дает весьма точный результат, то мы располагаем отправными точками для нахождения приближенного решения уравнения (14) в области $[U]$ путем интерполирования.

Продолжаем неограниченно кривую $\frac{\sigma_k}{\sigma_0} = 1 + BU$ за область напряжений $[U]$. Это продолжение рассматриваем как чисто аналитическое. При условии $U \rightarrow \infty$ можно положить $\frac{\sigma_k}{\sigma_0} \approx BU$, т. е. считать заряд геометрической емкости провода σ_0 пренебрежительно малым по сравнению со связанным зарядом $\sigma_{св}$.

При этих условиях решение уравнения (14) приводит к значению скорости v в волновом уравнении $U = F\left(t - \frac{s}{v}\right)$

$$v = \frac{1}{3} c. \quad (15)$$

При малых значениях U искажение волны следует ранее выведенным соотношениям (5) — (8), и начало фронта волны распространяется всегда со скоростью c .

Основное значение формулы (15) заключается в установлении предела, к которому стремится v , что позволяет установить примерный ход v в интересующей нас области напряжений $[U]$, где экспериментально определена линейная зависимость $\frac{\sigma_k}{\sigma_0}$. Как уже указывалось, опыты на моделях дают основание полагать эту зависимость простирающейся до разрядного напряжения линии.

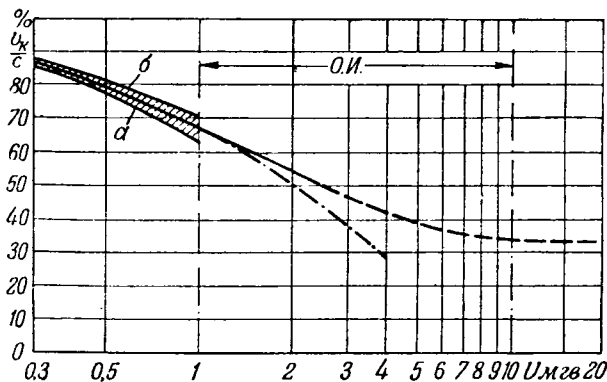


Рис. 5. Зависимость $\frac{v}{c}$ от напряжения волны (отрицательной полярности).

а—1-е приближение; б—2-е приближение; О. И.—область интерполирования.

На рис. 5 приведена кривая скорости распространения волны отрицательной полярности. При среднем значении $B = 0,5 \cdot 10^{-3} \frac{1}{кв}$ условие $\sigma_k \approx \sigma_{св}$ имеет место при $U > 10000$ кв.

В пределах напряжения до 1000 кв кривая определяется в первом (и втором) приближении для $B = 0,55 \cdot 10^{-3}$ ($h = 10$ м). В этой области напряжений кривая подтверждается осциллограммами затухания волн. В области напряжений 1000 ÷ 10000 кв кривая строится путем интерполирования. При напряжениях свыше 1000 ÷ 1500 кв скорость отклоняется от прежней закономерности (показанной штрих-пунктирной кривой на рис. 5) и стремится к установившемуся значению. С этого же значения экспериментом установлено начало снижения относительного затухания волн [Л. 5].

Волновое сопротивление коронирующей линии. Ток волны вдоль линии передачи равен заряду, проходящему в единицу времени через заданное сечение линии $i_k = \frac{\partial Q_k}{\partial t}$. Заряд Q_k является полным зарядом провода с учетом короны. По сути самого определения, ток i_k может быть выражен через скорость перемещения волны. Действительно, можно написать:

$$i_k = \frac{\partial Q_k}{\partial t} = \frac{\partial Q_k}{\partial s} \cdot \frac{\partial s}{\partial t}.$$

Но $\frac{\partial Q_k}{\partial s} = \sigma_k$ — линейная плотность заряда на проводе, а $\frac{\partial s}{\partial t} = v$, что следует из волнового уравнения $U = F\left(t - \frac{s}{v}\right)$. Следовательно, $i_k = v\sigma_k$, т. е. ток волны равен произведению плотности заряда на скорость перемещения фазы напряжения $U = \text{const}$. Формально v можно принять за скорость перемещения заряда σ_k ,

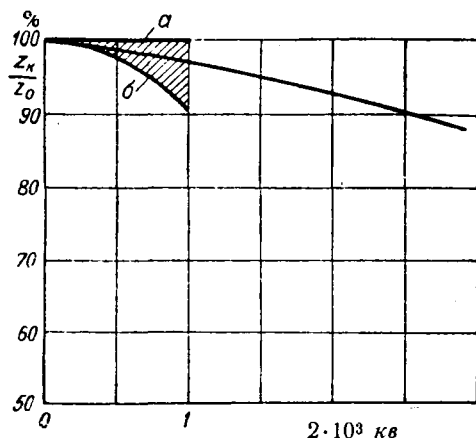


Рис. 6. Зависимость z_k / z_0 от напряжения волны (отрицательной полярности).

а—1-е приближение; б—2-е приближение.

и тогда ток i_k соответствует току конвекции. Следует, однако, иметь в виду, что физические заряды линии отнюдь не следуют скорости перемещения волны.

Волновое сопротивление коронирующей линии представим в виде отношения

$$z_k = \frac{U}{i} = \frac{U}{v \sigma_k} = \frac{U}{\frac{\sigma_k}{\sigma_0} \frac{v}{c}} = \frac{z_0}{\frac{\sigma_k}{\sigma_0} \cdot \frac{v}{c}}. \quad (16)$$

На рис. 6 построена кривая $z_k(U)$. Значения $\frac{v}{c}$ находятся по кривым рис. 5. Отношение $\frac{\sigma_k}{\sigma_0} = 1 + BU$, где принимаем $B = 0,55 \cdot 10^{-3}$.

Относительно малое снижение $\frac{z_k}{z_0}$ с ростом напряжения, несмотря на резкое возрастание токов статической импульсной короны ($i_{kp} = \frac{\partial \sigma_{cv}}{\partial U} \cdot \frac{\partial U}{\partial t}$), объясняется, как это следует из формулы (16), соответствующим снижением фазовой скорости v .

Линейная экстраполяция зависимости $\frac{\sigma_k}{\sigma_0}$ позволяет рассчитать волновые сопротивления и в области напряжений прямого удара молнии в линию передачи.

Литература

1. К. А. Круг. Основы электротехники, т. II. Госэнергоиздат, 1946.
2. В. В. Гей и С. Л. Зайенц. Исследование импульсной короны. ЖТФ, № 5, 1947.
3. В. В. Гей и С. Л. Зайенц. Зависимость коэффициента связи от напряжения. ЖТФ, № 9, 1947.
4. М. С. Сапп. Transactions. A. I. E. E., стр. 848, 1943.
5. А. К. Потужный и С. М. Фертик. Затухание блуждающих волн на линиях 110 кВ. Электричество, № 6, 1946.
6. А. К. Потужный и С. М. Фертик. Затухание волн высокого напряжения в 35-кВ линии. Электричество, № 1, 1938.

[11. 2. 1949]



КОНФЕРЕНЦИЯ ЧИТАТЕЛЕЙ ЖУРНАЛА „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

В Свердловске 27 сентября 1949 г. состоится однодневная конференция читателей журнала „Электричество“ для выявления и обсуждения запросов читателей к журналу.

Редакция журнала и Правление ВНИТОЭ приглашают свердловских и всех уральских читателей журнала „Электричество“ принять активное участие в работе конференции (Свердловск, Первомайская ул. № 24, Дворец культуры им. Горького).

Защита вращающихся машин, работающих на воздушные сети, от атмосферных перенапряжений

Кандидат техн. наук Д. В. РАЗЕВИГ

Московский энергетический институт им. Молотова

Отбор энергии на генераторном напряжении довольно часто встречается в схемах коммутации электрических станций.

В большинстве случаев отходящие фидеры выполняются в виде воздушных линий, которые иногда заводятся в помещение распределительного устройства с помощью относительно коротких кабельных вставок. Наличие воздушных линий, подключенных к шинам генераторного напряжения, открывает возможность воздействия на генератор атмосферных перенапряжений. Низкая изоляция генераторов и отсутствие защитных аппаратов с хорошими характеристиками создали представление о невозможности разработки надежной схемы защиты генераторов от атмосферных перенапряжений и привели к возникновению искусственной и неэкономичной схемы включения воздушных фидеров через разделяющий трансформатор с коэффициентом трансформации 1:1.

Большая работа, проделанная лабораторией разрядников ВЭИ, привела к созданию специальной серии вентильных разрядников генераторного типа, обеспечивающих на зажимах генератора напряжение, не превышающее испытательное при токе через разрядник 3 000 а.

Наличие таких разрядников позволяет создать схемы защиты станций, по своему защитному уровню не уступающие схеме с разделяющим трансформатором.

Исследованию различных схем защиты станций с воздушным и кабельным подходом и определению их необходимых параметров была посвящена работа, проделанная коллективом кафедры техники высоких напряжений МЭИ (Л. Ф. Дмоховская, В. В. Коген, Д. В. Разевиг, Е. Я. Рябкова) под руководством Л. И. Сиротинского. Экспериментальная часть работы проводилась в лаборатории перенапряжений ВЭИ.

Любая схема защиты станции включает в себя аппараты защиты, устанавливаемые непосредственно на шинах станции, и соответствующую защиту подхода. Весь комплекс защитных мероприятий должен обеспечить на зажимах ге-

Исследованы вопросы защиты от атмосферных перенапряжений изоляции электрических машин, питающих сети без применения трансформаторов. Обсуждаются схемы защиты междувитковой изоляции и нейтрали генераторов в случаях воздушного и кабельного подхода линии к станции.

нератора напряжение, амплитуда и крутизна которого не превосходили бы допустимых величин. Допустимая амплитуда напряжения определяется,

очевидно, импульсной прочностью обмоток, о которой, к сожалению, имеется довольно мало сведений.

Импульсная прочность новой изоляции в большинстве случаев значительно превышает испытательное напряжение заводских испытаний. Однако, отсутствие сведений о старении изоляции в эксплуатации и существующая практика эксплуатационных испытаний пониженным напряжением не позволяют в настоящее время при выборе схемы защиты исходить из напряжений больших, чем при заводских испытаниях.

Снижение крутизны подъема напряжения на зажимах генератора необходимо либо для защиты междувитковой изоляции многовитковых машин, либо для снижения перенапряжения на изолированной нейтрали в случае, если нейтраль недоступна. Оценка в этих двух случаях допустимой крутизны напряжения тесно связана с установлением основных волновых параметров генератора — скорости распространения волны, волнового сопротивления обмоток и затухания волны при движении вдоль обмотки. Поэтому настоящей работе был предпослан обзор имеющихся в литературе данных по волновым параметрам генератора и некоторых экспериментов на синхронных двигателях, проведенные Л. Ф. Дмоховской.

Скорость распространения волны вдоль обмотки генератора. Согласно данным всех исследователей скорость распространения волны максимальна в начале обмотки и уменьшается по мере проникновения волны в глубь обмотки. Средняя величина скорости для различных машин изменяется в широких пределах, имея тенденцию уменьшаться с ростом мощности. На рис. 1 сделана попытка представить эту тенденцию в виде кривой зависимости скорости распространения волны v от мощности машины P , построенную по опытным данным для машин

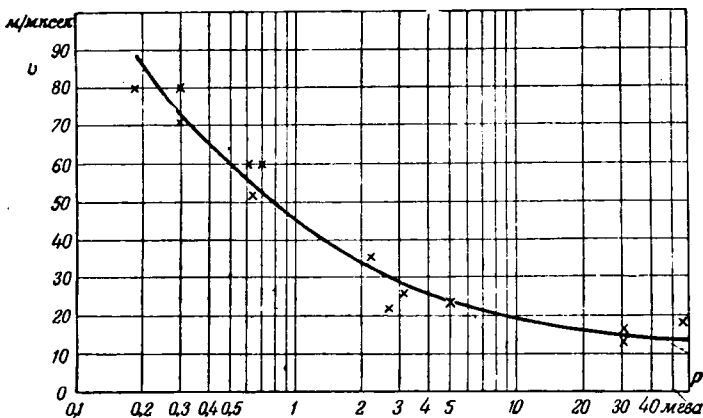


Рис. 1. Зависимость средней скорости распространения волны от мощности для машин союзного производства.

союзного производства. Относительно небольшой разброс точек оправдывает эту попытку и позволяет пользоваться кривой для практических расчетов.

Волновое сопротивление обмотки генератора. Большинство исследователей приходит к выводу, что обмотку генератора можно приближенно заменить участком линии с постоянным волновым сопротивлением Z . Величина Z пропорциональна номинальному напряжению, а при увеличении мощности имеет тенденцию уменьшаться. Для систематизации имеющихся данных на рис. 2 построена зависимость отношения Z/U от мощности для машин союзного производства. Данные рис. 2 относятся к случаю движения волны одновременно по одной фазе. При падении волны по трем фазам волновое сопротивление примерно в 3 раза меньше. Данные швейцарских и американских авторов также довольно хорошо ложатся на кривую рис. 2. Исключение составляют тихоходные машины, для которых Z/U понижено.

Затухание волн в обмотках генераторов. Данных относительно затухания волн в обмотках в литературе чрезвычайно

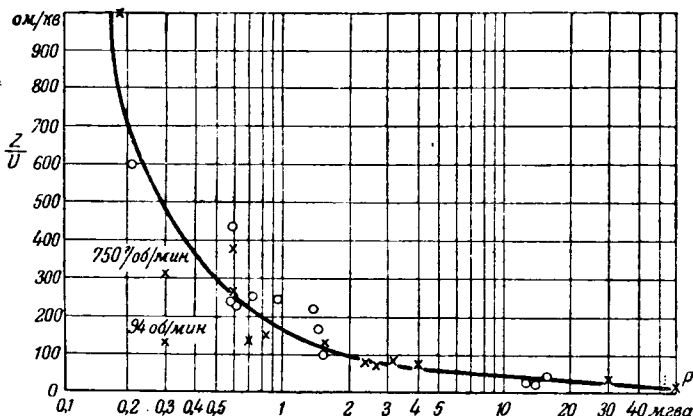


Рис. 2. Зависимость отношения волнового сопротивления одной фазы к номинальному напряжению для генераторов большой и средней скорости.

Крестики — союзные данные, кружки — американские и швейцарские.

мало, хотя этот параметр и играет довольно существенную роль, например, при расчете напряжения на изолированной нейтрали. Имеющиеся немногочисленные сведения и некоторые эксперименты, проведенные в настоящей работе, позволяют грубо оценить средний коэффициент затухания величиной порядка $\alpha = 0,02 \text{ сек}^{-1}$.

Защита междувитковой изоляции генераторов. Напряжение, лежащее на изоляцию витка с длиной l [м] при движении по обмотке волны с крутизной a [кВ/мксек] очевидно, равно:

$$\Delta U = \frac{a l}{v} [\text{кВ}],$$

где v — скорость распространения волны, м/мксек. Приравнявая ΔU амплитуде испытательного напряжения междувитковой изоляции $\sqrt{2} U_{исп}$, умноженной на коэффициент импульса, который принимается равным 1,2, получим значение допустимой крутизны напряжения

$$a_{доп} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot \frac{v \cdot U_{исп}}{l}.$$

Испытательное напряжение междувитковой изоляции определяется в основном номинальным

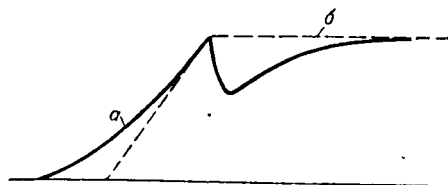


Рис. 3. Действительная (а) и расчетная форма волны, падающей на генератор.

напряжением машины и степенью ее ответственности. Для того чтобы получить универсальную величину допустимой крутизны, для всех машин данного класса напряжения был принят низкий предел испытательных напряжений.

Расчет по средней скорости распространения волны показал, что даже для маломощных многовитковых машин допустимая крутизна не меньше 3 кВ/мксек.

Учитывая значительный запас прочности изоляции, большую скорость волны в начале обмотки и действие затухания в конце обмотки, можно считать, что допустимая крутизна для всех машин не ниже 5 кВ/мксек. В отдельных случаях она может быть значительно выше.

Защита нейтрали генераторов. При падении волны по трем фазам потенциал изолированной нейтрали может подниматься до величины, близкой к двойному напряжению в начале обмотки, определяемому пробивным напряжением генераторного разрядника. Повышение потенциала на нейтрали зависит, главным образом, от соотношения между периодом собственных колебаний обмотки и длиной фронта падающей волны, а также от затухания волны в обмотке.

Для расчета перенапряжения на нейтрали обмотка заменялась П-образной схемой замеще-

ния, а форма падающей на генератор волны принималась косоугольная (рис. 3). Влияние среза вентильным разрядником приближенно учитывалось снижением вычисленного напряжения на 20%.

Защитные мероприятия должны настолько снизить крутизну падающей на обмотку волны, чтобы результирующее напряжение на нейтрали не превосходило напряжения в начале обмотки. Расчеты показали, что для защиты нейтрали крутизна напряжения не должна превосходить 2 кв/мксек, т. е. значительно меньшей величины, чем для защиты междувитковой изоляции.

Если нейтраль доступна, то защиту ее целесообразнее производить включением в нейтраль разрядника, который может иметь уменьшенный против нормального искровой промежуток. Шунтирование этого разрядника емкостью, как это рекомендуется в американской литературе, нам представляется излишним, так как глубина среза вентильным разрядником едва ли превосходит номинальное напряжение машины, а внезапное включение на номинальное напряжение генератора должны выдерживать.

Наиболее простым средством защиты нейтрали является ее заземление через активное сопротивление, величину которого согласно расчетам, произведенным в настоящей работе, можно выбирать по кривым рис. 4. В большинстве случаев сопротивления получаются большими, чем по американским рекомендациям; это предоставляет большую свободу выбора сопротивления для целей релейной защиты.

Схемы защиты станции с воздушным подходом. Эти схемы отличаются друг от друга способом защиты подхода от прямых ударов молнии (стержневые или тросовые молниеотводы) и количеством комплектов трубчатых разрядников, установленных на подходе. На шинах станции устанавливается комплект вентильных разрядников генераторного типа для защиты генератора от амплитуды напряжения и комплект конденсаторов, если необходима защита генератора от крутизны напряжения.

Защитное действие схемы со стержневыми молниеотводами с одним или двумя трубчатыми разрядниками на подходе при отсутствии емкости на шинах поддается довольно простому аналитическому расчету по схеме замещения. Под-

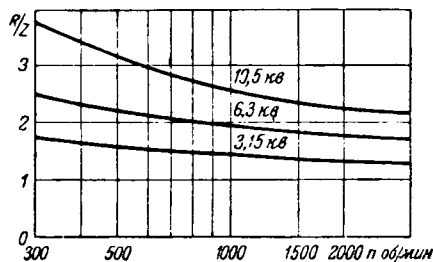


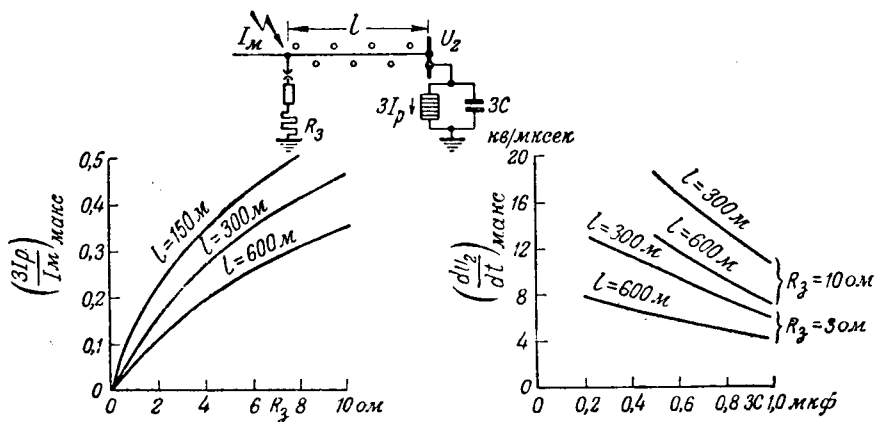
Рис. 4. Зависимость отношения сопротивления R в нейтрали, обеспечивающего защиту нейтрали, к волновому сопротивлению трех фаз генератора Z от скорости вращения генератора n .

ход в этой схеме замещается индуктивностью, трубчатые разрядники представлены своими сопротивлениями заземления, а вентильный разрядник заменяется постоянным активным сопротивлением, равным сопротивлению дисков разрядника при гарантированном токе (для генераторных разрядников 3 000 а). Расчетным случаем является удар молнии в начало защитного подхода.

Анализ защитных свойств схем защиты с тросовым молниеотводом расчетным путем затруднителен. При наличии емкости на шинах эти трудности еще увеличиваются. Поэтому анализ этих схем защиты производился экспериментальным путем на модели подхода, в которой провода линии заменялись цепочкой ячеек $L-C$, а трос — ячейками индуктивностей, магнитно связанных с индуктивностями проводов. Параметры модели соответствовали наиболее вероятному случаю распространения волны одновременно по трем проводам, так как при сильных ударах молнии в начало подхода перекрытие разрядников на всех трех фазах неизбежно. Удар молнии в начало подхода имитировался форсированием тока в схему от импульсного генератора. Напряжение в различных точках модели регистрировалось двумя катодными осциллографами ПАКО-8.

В результате проведенной расчетно-экспериментальной работы построена серия графиков, подобных приведенным на рис. 5 и 6, которые позволяют при проектировании весьма просто выбрать схему защиты станции и определить все ее параметры, зная характеристики устанавливаемых вентильных разрядников и допустимую

Рис. 5. Расчетные графики для определения длины защищенного стержневыми молниеотводами воздушного подхода, сопротивления заземления трубчатого разрядника в начале подхода и емкость на шинах станции. Случай движения волны по трем фазам. Класс напряжения 6 кв.



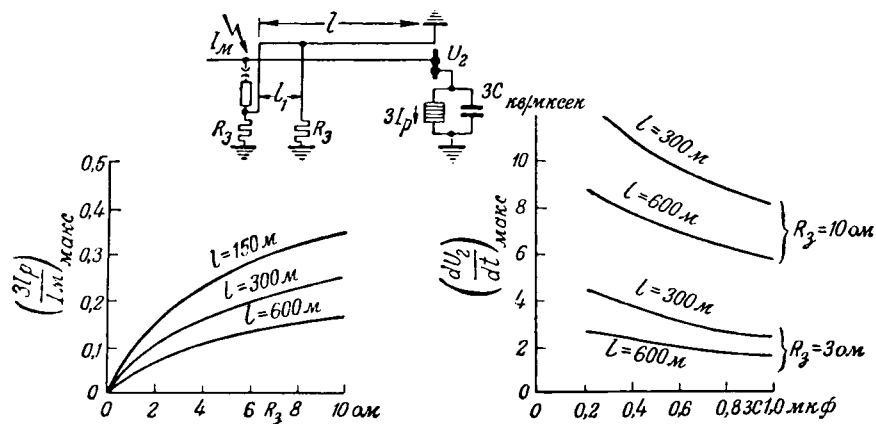


Рис. 6. Расчетные графики для определения длины защищенного тросом воздушного подхода, сопротивления заземления трубчатого разрядника в начале подхода и емкости на шинах станции. Расстояние между спусками от тросов $l_1=75$ м. Случай движения волны по трем фазам. Класс напряжения 6 кв.

крутизну на зажимах генератора и задавая расчетным током молнии. Если допускаемую крутизну для данного генератора установить затруднительно, можно пользоваться величиной допускаемой крутизны в 5 кв/мксек для защиты междувитковой изоляции и 2 кв/мксек для защиты нейтрали.

Схемы защиты с кабельным подходом. В то время как защитные свойства схем защиты с воздушным подходом совершенно очевидны и нуждались лишь в количественной оценке, свойства схем защиты, содержащих кабельную вставку, были в значительной степени неясными.

Применение кабельной вставки как элемента защиты основано на том, что электрическое соединение жил кабеля с оболочкой в начале кабельной вставки практически обуславливает вытеснение всего тока молнии, поражающей начало кабельного подхода, на оболочку. Полная экранировка жил кабеля оболочкой сводит почти к нулю напряжение между жилами кабеля и оболочкой на станционном конце кабеля, а следовательно, и между обмоткой генератора и его корпусом.

Простейшая схема защиты с кабельным подходом, рекомендованная еще «Руководящими указаниями» 1940 г., кроме обычной защиты на шинах станции имеет один комплект трубчатых разрядников на линейном конце кабеля, пробой искровых промежутков которых и осуществляет электрическое соединение жил кабеля с оболочкой.

При такой схеме защиты в случае пробоя искровых промежутков трубчатых разрядников в кабель проникнет лишь короткий пик напряжения с амплитудой, равной пробивному напряжению разрядника, и с длительностью, равной предразрядному времени. Благодаря большому коэффициенту импульса трубчатых разрядников при малых временах амплитуда пика может быть довольно велика.

Для оценки возможной опасности этого пика напряжения для изоляции генераторов было предпринято экспериментально-теоретическое исследование затухания коротких волн в кабеле [Л. 1]. Как показало это исследование, затухание волн малой длительности в кабеле длиной 150 ÷ 200 м настолько значительно, что делает

короткий предразрядный пик напряжения во всех случаях безопасным для изоляции генераторов. Кроме того, даже незначительная емкость на шинах приведет к дальнейшему снижению амплитуды этого пика.

Если ток молнии, поражающий начало подхода, невелик, напряжение на трубчатом разряднике может оказаться недостаточным для приведения последнего в действие. В этом случае в кабель может войти полная волна напряжения, амплитуда которой меньше или равна пробивному напряжению трубчатого разрядника $U_{пр}$ при времени порядка 2 мксек. Максимальный ток молнии, не вызывающий работы трубчатого разрядника,

$$I_{\max} = \frac{U_{пр}}{Z_k},$$

где Z_k — волновое сопротивление кабеля.

Для того чтобы разряд молнии с таким током не вызвал протекания через вентильный разрядник, установленный на шинах станции, тока, превышающего гарантированный для данного типа разрядника, необходимо соблюдение неравенства:

$$I_{\max} \leq I_{зар} \frac{Z_k + R_{pv}}{2Z_k} = I',$$

где R_{pv} — эквивалентное сопротивление вентильного разрядника при токе, равном гарантированному.

Если $I_{\max} > I'$, имеется интервал токов молнии от I_{\max} до I' , при которых через разрядник на шинах будет течь ток больше гарантированного. Величина этого интервала, а следовательно, и вероятность протекания через вентильный разрядник чрезмерно больших токов, зависит от характеристик вентильного и трубчатого разрядников и волнового сопротивления кабеля. Высокое пробивное напряжение старых типов трубчатых разрядников делает их совершенно непригодными для применения в схемах защиты с кабельным подходом, так как вероятность появления опасных токов молнии слишком велика. Если пробивное напряжение трубчатого разрядника при 2 мксек для 3 и 6 кв равно 40 кв, а для 10 кв равно 50 кв, что соответствует характеристикам разрядников серии РТО, то со-

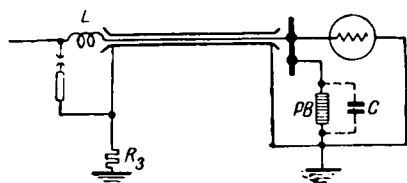


Рис. 7. Включение индуктивности в начале кабельного подхода.

гласно расчету простейшая схема защиты с кабельным подходом обеспечивает совершенную защиту генераторов 10 кВ при применении кабельной вставки сечением 120 мм² и ниже, генераторов 6 кВ при кабелях сечением 95 мм² и ниже, а для генераторов 3 кВ не обеспечивает полной защиты при всех практически встречающихся сечениях кабеля. Отметим, что для схем защиты с кабельным подходом в противоположность схемам с воздушным подходом наиболее опасными являются малые токи молнии, поэтому расчетным является более тяжелый случай движения волны по одному проводу (междуфазовые перекрытия при малых токах могут не иметь места).

В качестве одной из мер улучшения защитных свойств схемы могла бы служить установка дополнительного вентильного разрядника на одной из фаз при устройстве подхода таким образом, чтобы провод этой фазы прикрывал от ударов молнии остальные провода. Это мероприятие привело бы к увеличению безопасных сечений кабеля до 300 мм² при 10 кВ, до 240 мм² при 6 кВ и до 70 мм² при 3 кВ.

Другим эффективным средством улучшения защитных свойств схемы с кабельным подходом является включение между местом присоединения трубчатого разрядника и кабелем небольшой катушки индуктивности (рис. 7). Подпор напряжения на индуктивности увеличивает при данном токе молнии напряжение на трубчатом разряднике самым обеспечивает его срабатывание при токах меньше, чем $I_{\max} = \frac{U_{\text{пр}}}{Z_k}$. Расчет показы-

вает, что схема работает надежно при всех сечениях кабельной вставки, если индуктивность катушки равна 50 ÷ 100 мкГн. Такие воздушные дроссели нашей промышленностью не изготавливаются, но конструирование и производство их не встретит особых затруднений. По нашему мнению, вопрос этот заслуживает внимания.

При нежелательности применения сосредоточенной индуктивности возможно использовать индуктивность участка воздушной линии, осуществив схему согласно рис. 8, защитные свойства которой несколько хуже, чем схемы рис. 7. Разрядник PT_2 в этой схеме служит для среза короткой волны напряжения, вызванной подпором напряжения на индуктивности соединительного провода. Длина l_2 в этой схеме должна иметь величину порядка 50 ÷ 100 м, что делает схему довольно громоздкой.

Ограничение крутизны напряжения на шинах станции в схемах с кабельным подходом тре-

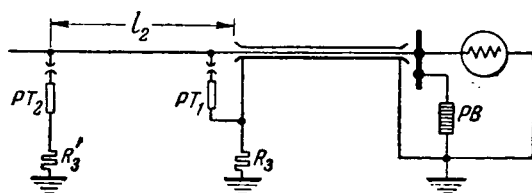


Рис. 8. Использование индуктивности участка линии.

бует установки больших емкостей (порядка 0,5 ÷ 2 мкФ), чем в схемах с воздушным подходом, хотя расчет и в этом случае следует вести для малого тока молнии, не приведшего к работе разрядника PT . Применение усложненных схем по рис. 7 или 8 позволит в несколько раз снизить необходимую емкость на шинах.

Особо следует остановиться на комбинированной схеме защиты (рис. 9), рекомендованной «Руководящими указаниями» и в свое время подвергавшейся довольно сильной критике. Указывалось, что эта схема должна рассматриваться как схема чисто воздушного подхода с учетом емкости кабеля, так как разрядник PT_2 , первым вступив в действие, срезав волну и снизив тем самым напряжение на проводе до величины $I_m R_3$, не даст работать разряднику PT_1 и, следовательно, защитные свойства кабельной вставки не вступят в действие. Это утверждение основывалось на построении графиков напряжения в начале и в конце кабеля, причем вентильный разрядник на шинах заменялся постоянным омическим сопротивлением, соответствующим сопротивлению разрядника при гарантированном токе. Однако, метод замены PB постоянным сопротивлением, вполне оправданный при расчете максимального тока через PB , наступающего после весьма большого числа отражений от концов кабеля, совершенно не применим в данном случае. Вопрос о срабатывании PT_1 решается в первые микросекунды, когда большую роль играют волны, отраженные от шин станции до пробоя искровых промежутков вентильного разрядника. Следует строить графики напряжения в начале и конце кабеля при непробитых промежутках вентильного разрядника, и если напряжение на PT достигнет величины его пробивного напряжения до момента пробоя вентильного разрядника, он наверняка срабатывает. Расчеты, проведенные по этой методике, показали, что трубчатый разрядник PT будет срабатывать даже при наличии емкости на шинах порядка 0,5 мкФ при больших токах молнии, т. е. как раз тогда, когда срабатывание только одного разрядника PT_2 не обеспечивает полной защиты стан-

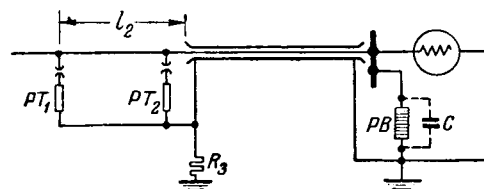


Рис. 9. Комбинированная схема защиты.

ции. Таким образом, комбинированная схема защиты вполне работоспособна и ее можно рекомендовать в тех случаях, когда простая схема защиты с кабельной вставкой недостаточна, а устройство длинного защищенного воздушного подхода является нежелательным.

Для защиты многовитковых генераторов комбинированная схема защиты нецелесообразна, так как в силу укороченного воздушного подхода требует установки большой емкости на шинах станции.

В заключение следует отметить, что применение схем защиты с кабельным подходом ограничивается предельно отключаемым током выпускаемых трубчатых разрядников, так как ток короткого замыкания в начале кабельного подхода и большой мощности станции значителен. Поэтому, следует особенно приветствовать проведенную в ВЭИ работу по разработке новых трубчатых разрядников, имеющих большую разрывную мощность.

Выводы. 1. Проведенный анализ литературных данных и некоторые собственные эксперименты позволили систематизировать имеющийся материал о волновых параметрах генераторов и построить кривые рис. 1 и 2, пригодные для практических расчетов.

2. Защита междувитковой изоляции многовитковых машин осуществляется установкой конденсаторов на шинах станции и соответствующей защитой подхода. При отсутствии точных данных допустимая крутизна на шинах может быть принята равной 5 кв/мксек.

3. Защита нейтрали генератора может осуществляться тремя способами:

а) заземлением нейтрали через активное сопротивление, выбираемое по рис. 4;

б) снижением крутизны напряжения на зажимах генератора до величины порядка 2 кв/мксек;

в) включением в нейтраль вентильного разрядника с пониженным пробивным напряжением; шунтировка этого разрядника емкостью нецелесообразна.

4. В результате проделанной работы построена серия графиков, позволяющая легко выбрать схему защиты с воздушным подходом и определить все ее параметры. Эти графики целесообразно включить в новое издание «Руководящих указаний по защите от перенапряжений».

5. Простейшую схему защиты с кабельным подходом целесообразно применять лишь при напряжениях 6 и 10 кв и сечениях кабеля не более 95 и 120 мм². Защитный уровень схемы в этом случае весьма высок.

6. Усложнение схемы защиты с кабельным подходом путем применения воздушного дросселя с $L \leq 100$ мкгн (рис. 7) сильно увеличивает эффективность схемы, делая ее пригодной для всех напряжений и всех сечений кабеля. Немного менее эффективна схема рис. 8.

7. Комбинированная схема защиты (рис. 9) вполне работоспособна и ее целесообразно применять для одновитковых машин при недостаточности простой схемы с кабельным подходом и нежелательности устройства длинного защищенного воздушного подхода.

Литература

1. Д. В. Разевиг. Затухание волн в кабелях. Электричество, № 5, 1948.

[5. 2. 1949]



Расчет линий высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой

А. И. ЗАЙЦЕВ и Н. Д. КУТЯВИН

Томский политехнический институт

Перевод протяженных участков железных дорог на электрическую тягу, а также электрификация сельскохозяйственных районов страны требует применения упрощенной методики расчета сети высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой. В самом деле, питаемые тяговых подстанций протяженных участков (например, участок Новосибирск—Омск) с однородным профилем будут иметь почти идеальные условия равномерно распределенной нагрузки.

Нагрузки некоторых подстанций (на горных и пригородных участках) будут отличаться от нагрузки магистральных подстанций, но они не будут иметь решающего влияния на режим работы линии [Л. 1].

Точки отбора мощности могут отстоять друг от друга на 15 ÷ 30 км в зависимости от способа обслуживания и типа выпрямительных устройств тяговых подстанций. Меньшие расстояния будут применяться, вероятно, при полной автоматизации тяговых подстанций, оборудованных одним выпрямительным устройством с одноанодными выпрямителями.

Для расчета линий высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой можно воспользоваться известными уравнениями передачи энергии с равномерно распределенными постоянными:

$$\dot{U}_{\phi 1} = \dot{U}_{\phi 2} \operatorname{ch} \sqrt{\frac{z_0}{y_0}} l + \dot{I}_2 \sqrt{\frac{z_0}{y_0}} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{z_0}{y_0}} l; \quad (1)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{\phi 2} \sqrt{\frac{y_0}{z_0}} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{y_0}{z_0}} l + \dot{I}_2 \operatorname{ch} \sqrt{\frac{y_0}{z_0}} l. \quad (2)$$

Можно использовать также приближенные формулы, полученные из (1) и (2) путем разложения в ряд:

$$\dot{U}_{\phi 1} = \dot{U}_{\phi 2} \left(1 + \frac{z_0 y_0}{2} l^2 \right) + \dot{I}_2 z_0 l \left(1 + \frac{z_0 y_0}{6} l^2 \right); \quad (3)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{\phi 2} y_0 l \left(1 + \frac{z_0 y_0}{6} l^2 \right) + \dot{I}_2 \left(1 + \frac{z_0 y_0}{2} l^2 \right). \quad (4)$$

При применении этих уравнений для расчета линий с равномерно распределенной нагрузкой в проводимость их необходимо включить кроме естественной проводимости линии также и проводимость нагрузки, отнесенную к одному километру длины линии:

$$g_n = \frac{P}{U_p^2} \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{\text{ом} \cdot \text{км}} \right]. \quad (5)$$

Реактивная проводимость нагрузки, отнесенная к 1 км длины линии:

$$b_n = \frac{Q}{U_p^2} \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{\text{ом} \cdot \text{км}} \right]; \quad (6)$$

Разработан метод расчета линий электропередачи высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой. Новый метод значительно проще применявшегося ранее метода расчета по схемам замещения. Рассматривается в виде примера схема расчета линии с двухсторонним питанием.

здесь

U_p — расчетное напряжение (напряжение в конце или среднее эксплуатационное напряжение линии), кВ;

P — активная нагрузка, кВт/км;

Q — реактивная нагрузка, квар/км.

Суммарное сопротивление фазы линии, отнесенное к километру длины:

$$\dot{z}_0 = r_0 + x_0 = z_0 e^{j\varphi_z}. \quad (7)$$

Суммарная проводимость фазы линии, отнесенная к километру длины:

$$\dot{y}_0 = (g_a + g_n) + j(b_c - b_n) = y_0 e^{j\varphi_y}, \quad (8)$$

где r_0 и x_0 — сопротивления 1 км линии, ом;

g_a и b_c — проводимости 1 км линии, ом⁻¹;

g_n и b_n — проводимости нагрузки на 1 км линии.

При отсутствии транзита мощности по линии можно считать $I_2 = 0$. Тогда расчетные формулы (1) — (4) упростятся и примут вид:

$$\dot{U}_{\phi 1} = \dot{U}_{\phi 2} \cdot \operatorname{ch} \sqrt{\frac{z_0}{y_0}} l; \quad (9)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{\phi 2} \sqrt{\frac{y_0}{z_0}} \cdot \operatorname{sh} \sqrt{\frac{y_0}{z_0}} l; \quad (10)$$

$$\dot{U}_{\phi 1} = \dot{U}_{\phi 2} \left(1 + \frac{z_0 y_0}{2} l^2 \right); \quad (11)$$

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_{\phi 2} y_0 l \left(1 + \frac{z_0 y_0}{6} l^2 \right). \quad (12)$$

Формулы (1) — (4) и (9) — (12) применительно к линиям с равномерно распределенной нагрузкой дают зависимости типа $\dot{U}_{\phi 1} = f(l)$ и $\dot{I}_1 = \varphi(l)$.

В таблице проводится сравнение методов расчета для радиальной линии длиной 300 км с проводом АС-150; напряжение на конечной подстанции $U_2 = 104,5$ кВ; мощность каждой подстанции $P_{nc} = 6000$ кВт; $\cos \varphi = 0,95$; расстояние между подстанциями $l_{nc} = 30$ км. Сопротивления линии на 1 км: $r_0 = 0,21$ ом/км; $x_0 = 0,42$ ом/км. Проводимости линии $g_a = 0$ и $b_c = 2,7 \cdot 10^{-6}$ (ом·км)⁻¹.

Активная проводимость нагрузки на 1 км линии на основании (5):

$$g_n = \frac{P_{nc}}{l_{nc} U_p^2} \cdot 10^{-3} = \frac{6000}{30 \cdot 104,5^2} \cdot 10^{-3} = 18,3 \cdot 10^{-6} \text{ (ом} \cdot \text{км)}^{-1}.$$

Расстояние до подстанции	Ступенчатый расчет						Равномерно распределенная нагрузка					
	Точный метод (по гиперболическим функциям)			По схемам замещения			По гиперболическим функциям			По формулам разложения гиперболических функций		
	U	I	φ	U	I	φ	U	I	φ	U	I	φ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
30	60 817	33,48	10,6	60 720	33,7	10,6	60 700	33,6	10,7	60 720	33,6	10,5
60	61 410	67,05	11,3	61 330	67,1	11,1	61 560	67,4	11,3	61 500	68,0	11,2
90	62 310	100,6	12,25	62 210	100,0	11,6	62 100	101,8	11,5	62 250	101,0	11,65
120	63 520	134,1	13,5	63 470	132,5	12,4	63 500	137,0	11,9	63 500	136	12,9
150	65 080	167,4	15,0	65 090	164,0	13,55	65 050	172,0	13,7	64 900	172,3	14,0
180	67 000	200,3	16,2	66 936	194,1	14,25	66 850	208	15,2	66 600	209	15,5
210	69 200	232	18,5	69 420	221	15,3	69 400	246,1	16,8	69 500	244,5	15,5
240	71 890	265,9	20,4	72 225	248,2	16,4	72 300	284,2	18,6	72 200	284,0	17,9
270	75 020	298,4	22,4	75 500	273,2	17,45	75 100	323,2	19,55	75 300	325,0	19,0
300	78 580	330,7	24,6	78 840	298,0	18,4	78 850	364	20,85	78 600	360	19,9

Реактивная проводимость нагрузки на 1 км линии на основании (6):

$$b_n = \frac{Q_{nc}}{U_p^2} \cdot 10^{-3} = \frac{P_{nc} \cdot \operatorname{tg} \varphi}{U_p^2} \cdot 10^{-3} = \frac{6\,000 \cdot 0,328}{30 \cdot 104,5^2} \cdot 10^{-3} = 6,01 \cdot 10^{-6} \text{ (ом} \cdot \text{км)}^{-1}.$$

В графах 2, 3 и 4 таблицы приведены результаты расчета линии, по формулам (1) и (2) с учетом ступенчатости нагрузок. Данные граф 5, 6 и 7 получены по наиболее распространенным формулам, составленным на основании схем замещения. Наконец, данные граф 8, 9 и 10 получены по формулам (9) и (10), а граф 11, 12 и 13 — по формулам (11) и (12) с учетом равномерно распределенной нагрузки. Данные граф 2 и 3, как контрольные, вычислены с большой степенью точности.

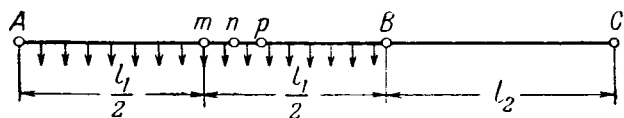
Сравнивая между собой данные граф 2, 5, 8 и 11, можно сделать вывод, что последние три способа (графы 5, 8 и 11) дают результаты, весьма близкие к первому. Разница в величинах токов получилась более значительной. Так, например, упрощенный способ расчета, основанный на схеме замещения, дает ток, заниженный на 10% (графа 6), а расчет с учетом равномерно распределенной нагрузки (графы 9 и 12) дает завышенные на 9% токи. Последнее объясняется тем, что при вычислении проводимостей нагрузки было принято в расчет напряжение на конце линии 104,5 кВ вместо среднего эксплуатационного 110 кВ, почему эти проводимости оказались несколько преувеличенными.

Предлагаемый метод расчета линий высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой обладает весьма большой простотой. Этот способ позволил вычислять данные любой строки таблицы без вычисления данных предыдущих строк, тогда как ступенчатый метод требует последовательного расчета линии на каждом пролете между нагрузками. Так, например, для получения данных последней строки таблицы при ступенчатом расчете (графы 2 и 3) потребовалось применить формулы (1) и (2) десять раз, а для получения данных последней строки при учете равномерно распределенной нагрузки потребовалось применить для граф 8 и 9 формулы (9) и (10) один раз и для граф (11) и (12) формулы (11) и (12) то же один раз.

Расчет более сложных сетей будет сводиться, как обычно, к определению точки токораздела при одинаковых напряжениях в узлах питания, разрезанию сети в этой точке на элементарные участки и к расчету этих элементарных участков по уравнениям (1), (2) и (9) — (12).

После того определяются уравнивающие токи, обусловленные неодинаковостью действительных напряжений в узлах, эти токи налагаются на линию и определяются новые точки токораздела и т. д.

Рассмотрим для примера методику расчета линии с двухсторонним питанием, приведенной на рисунке.



Эта линия на участке AB имеет равномерно распределенную нагрузку; на участке BC отбор мощности отсутствует. Требуется найти распределение напряжений и токов в этой линии, если напряжения в узлах A и C должны быть равны соответственно U_a и U_c .

Предположим сначала, что напряжения в точках A и B одинаковы и равны U_a , тогда точка токораздела будет в точке m, на середине участка AB.

Воспользовавшись уравнениями (1), (2) и (9) — (12) и исходя из заданного напряжения, определим при этих условиях напряжения в точках m и c и токи, вытекающие из точек A, B и C. Если при этом напряжение в точке C окажется отличным от заданного напряжения U_c , определяется уравнивающий ток, который должен вытекать из точки C для того, чтобы изменить напряжение в этой точке. После наложения уравнивающего тока на линию AC находим новую точку токораздела n и снова определяем напряжения в точках n, B и C при заданном напряжении U_a , а также токи, вытекающие из A, B и C. Если и на этот раз напряжение в C будет отличаться от действительного, нужно еще раз определить дополнительный уравнивающий ток, вытекающий из точки C, и снова найти новую точку токораздела p и определить напряжения U_p , U_B и U_C и токи, вытекающие из A, B и C. Таким образом, используя метод последовательного приближения, можно рассчитать указанную линию с достаточной для практики степенью точности.

Выводы. Приведенный выше метод расчета линий высокого напряжения с равномерно распределенной нагрузкой не уступает по точности расчетам по схемам замещения. Этот метод может значительно ускорить и упростить проектирование высоковольтных сетей с равномерно распределенной нагрузкой. Метод применим во всех случаях, когда производится отбор мощности от линии примерно равными порциями и через равные промежутки. Минимальное число отборов, когда получается еще достаточная точность, равно 3—4. Формулы (11) и (12), не требующие применения гиперболических функций и дающие достаточную точность, являются более удобными для расчета.

Литература

1. С. М. Сердинов. Электричество, стр. 3, № 9, 1947.

Погрешности индукционных счетчиков при пониженном напряжении

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

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Большое число однофазных индукционных счетчиков электрической энергии, установленных у мелких потребителей, часто работает при ненормальных условиях и, в частности, при значительной перегрузке и сильно пониженном напряжении. Известно, что при ненормальных условиях индукционные счетчики имеют дополнительные погрешности. Энергосбытом Мосэнерго было произведено исследование работы обычных квартирных счетчиков в условиях перегрузки и при пониженных напряжениях. На основании этого исследования был сделан вывод [Л. 1], что индукционные счетчики при перегрузке будут иметь отрицательную погрешность, которая увеличивается при понижении напряжения. Например, если при нагрузке в 300% и номинальном напряжении некоторый средний, условный счетчик будет иметь погрешность — 12%, то при той же нагрузке в 300% и пониженном на 40% напряжении он будет иметь погрешность, доходящую до —30%. В подтверждение этого в статье [Л. 1] приводятся кривые погрешностей условного счетчика в зависимости от нагрузки при различных напряжениях. Мы приводим эти кривые (рис. 1) только для напряжений 127 и 80 в, первое из которых — номинальное.

На рис. 1 видно, что кривая погрешностей условного счетчика, полученная при напряжении 80 в, располагается значительно ниже кривой погрешности, полученной при напряжении 127 в. Такое снижение кривой погрешности при 80 в Г. В. Сербиновский и Э. С. Иохвидов объясняют сложными взаимодействиями в магнитных цепях катушки напряжения счетчика и, беря приведенные кривые за основу, подсчитывают величину недоученной энергии для Москвы вследствие перегрузки и пониженного напряжения.

В действительности, на рис. 1 можно считать верной кривую погрешностей, полученную только при номинальном напряжении 127 в. Это — обыч-

Исследована теоретически и экспериментально погрешность индукционных счетчиков при перегрузках и пониженном напряжении. Показано, что в большинстве случаев кривые погрешностей в функции нагрузки счетчиков при пониженном напряжении располагаются выше кривых для номинального напряжения. Сформулированы предложения о разработке новых типов счетчиков и об изменении стандарта на счетчики.

ная кривая погрешностей индукционного счетчика без магнитного шунта в последовательной магнитной цепи, снижение которой при перегрузках вызывается наличием у счетчика дополни-

тельного момента $M_1 = c_1 \Phi_1^2 n$, возникающего от пересечения диском рабочего последовательного потока Φ_1 . Объяснить же кривую погрешностей условного счетчика при 80 в, приведенную на рис. 1, затруднительно. Считая эту кривую ошибочной и не характеризующей работу действительных счетчиков, мы вынуждены для восстановления более истинного представления о работе индукционных счетчиков при пониженном напряжении разобрать этот вопрос несколько подробнее.

Формулы погрешностей индукционного счетчика с учетом изменения напряжения. При изменении напряжения будет изменяться рабочий параллельный поток Φ_u , величина которого

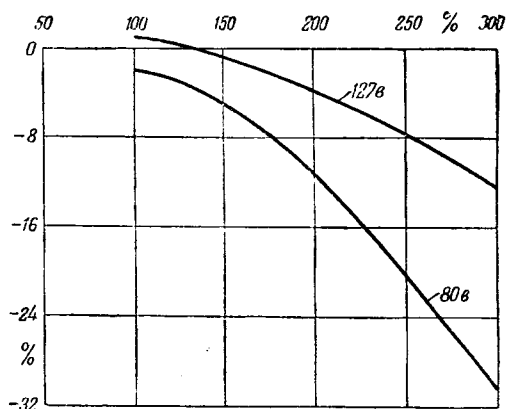


Рис. 1. Кривые погрешностей условного счетчика в зависимости от нагрузки при различных напряжениях. По оси абсцисс отложена нагрузка счетчика в процентах от номинальной, по оси ординат — погрешность счетчика в процентах.

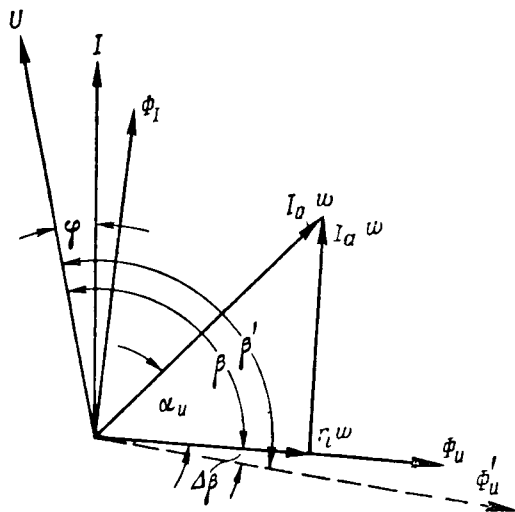


Рис. 2. Упрощенная векторная диаграмма счетчика для нормального и повышенного напряжений.

входит в формулы трех моментов: вращающего

$$D = cf \Phi_u \Phi_I \cdot \sin(\phi_0 - \varphi),$$

тормозящего, возникающего от пересечения диском потока Φ_u :

$$M_u = c_u \Phi_u^2 n$$

$$\gamma_k = \frac{p_1 p_u [1 + (\Delta\beta - \Delta\alpha_1) \operatorname{tg} \varphi] + \frac{(kp_u)^2 a_k - a'_r}{mk} - (1 + a_k - a_r) a_u [(kp_u)^2 - 1] - (1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1]\}}{(1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1] + a_u [(kp_u)^2 - 1]\}}. \quad (1)$$

При $\varphi = 0$

$$\gamma_k = \frac{p_1 p_u + \frac{(kp_u)^2 a_k - a'_r}{mk} - (1 + a_k - a_r) a_u [(kp_u)^2 - 1] - (1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1]\}}{(1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1] + a_u [(kp_u)^2 - 1]\}}. \quad (2)$$

и компенсационного

$$D_k = c_k f^2 \Phi_u^2 \cdot \sin \phi_k.$$

Кроме того, изменение потока Φ_u вызывает изменение величины вихревых токов в диске, индуцированных этим потоком, и приводит к изменению потерь мощности в диске и в сердечнике. Изменение потерь на вихревые токи и гистерезис изменит угол сдвига α_u , так как изменится величина активной составляющей ампервитков $I_a \omega$. Эта составляющая изображена на векторной диаграмме рис. 2, которая построена для случая увеличения напряжения, когда поток Φ_u возрастает до величины Φ'_u , а угол β — на $\Delta\beta$, до величины β' . Изменение α_u приводит к измене-

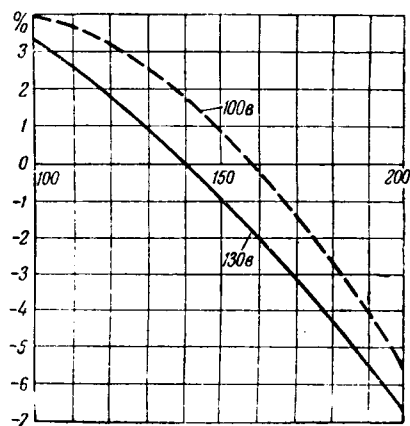


Рис. 3. Кривые погрешностей счетчика типа Б1.

нию угла ϕ и, следовательно, вращающий момент D будет зависеть как от Φ_u , так и от $\sin \phi$.

Выражение для погрешности счетчика, введенное в приложении из соотношения моментов, имеющих место у счетчика, с учетом возможности изменения нагрузки и напряжения имеет вид:

Если $p_u = 1$ и $k = 1$ (номинальное напряжение то, при $\varphi = 0$,

$$\gamma = \frac{p_1 + \frac{a_k - a'_r}{m} - (1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1]\}}{(1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1]\}}. \quad (3)$$

Уравнение (3) достаточно полно объясняет вид кривой погрешности счетчика при изменении нагрузки и номинальном напряжении (рис. 1). Дополнительная погрешность счетчика γ_u , вызываемая при $\varphi = 0$ только изменением напряжения, приложенного к его параллельной обмотке, найдется как разность погрешностей γ_k и γ , определяемых формулами (2) и (3). Приближенное выражение для γ_u :

$$\gamma_u \approx \frac{p_1 (p_u - 1) + a_u (1 + a_k - a_r) [1 - (kp_u)^2] + \left(\frac{a_k}{m} + \frac{a'_r}{mk}\right) (k - 1)}{(1 + a_k - a_r) \{1 + a_1 [(mp_1)^2 - 1] + a_u [(kp_u)^2 - 1]\}}. \quad (4)$$

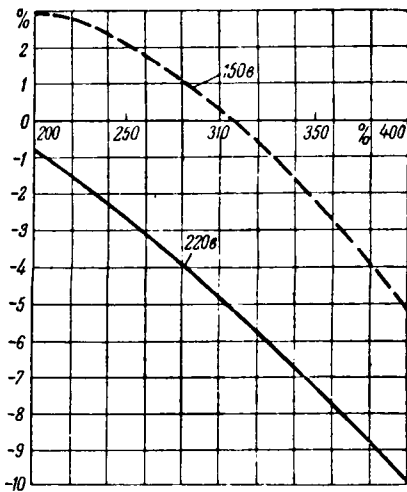


Рис. 4. Кривые погрешностей счетчика типа Б₁.

Расчеты γ_u по формуле (4) не представляют затруднений, если известны p , p_u , k , m , a_k , a_r , a'_r , a_1 и a_u [Л. 2]. Пусть, например, $a_k = 0,008$; $a_r = 0,005$; $a_u = 0,065$ и $a_1 = 0,03$, тогда при $m = 2$, $k = 0,8$ (пониженное напряжение), $p_u = 1$; $p_1 = 1,02$ и $a'_r = 0,008$:

$$\gamma_u \approx \frac{0,024 - 0,002}{1,08} 100 \approx +2\%.$$

Приведенный пример показывает, что при $p_u = 1$ величина погрешности γ_u определяется вторым членом числителя в формуле (4), т. е. величиной $a_u(1 + a_k - a_r)[1 - (kp_u)^2]$, которая при пониженном напряжении ($k < 1$) положительна.

Для ориентировочных подсчетов формулу для γ_u можно представить упрощенно:

$$\gamma_u \approx a_u(1 - k^2). \quad (5)$$

Последнее выражение непосредственно указывает, что при $k < 1$, т. е. при пониженном напряжении, γ_u будет положительной величиной. Поэтому на основании (4) и (5) мы можем утверждать, что кривая погрешностей счетчика при пониженном напряжении должна располагаться на графике выше кривой погрешности, определенной при номинальном напряжении, а не наоборот. Это происходит в основном за счет уменьшения при пониженном напряжении тормозящего момента M_u .

Экспериментальное определение погрешностей индукционных счетчиков при перегрузке и пониженном напряжении. Для проверки сделанных выводов нами были испытаны методом ваттметра и секундомера восемь различных счетчиков, данные которых приведены в таблице.

Результаты испытаний выражены кривыми, изображенными на рис. 3—10; по оси абсцисс отложено отношение I/I_N в процентах, по оси ординат— γ в процентах, сплошными линиями указаны нагрузочные кривые счетчиков при номинальном, а пунктирными—при пониженном

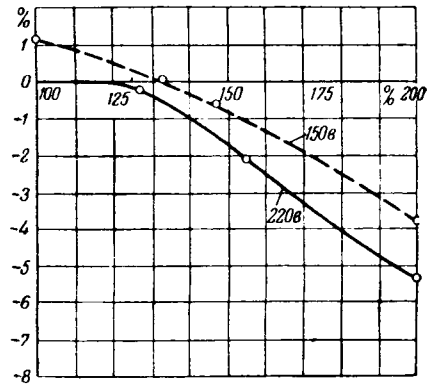


Рис. 5. Кривые погрешностей счетчика типа Б₂.

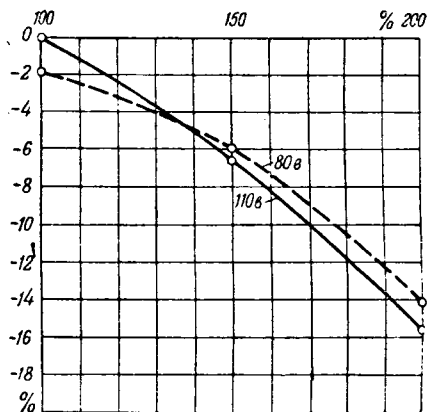


Рис. 6. Кривые погрешностей счетчика типа W₈.

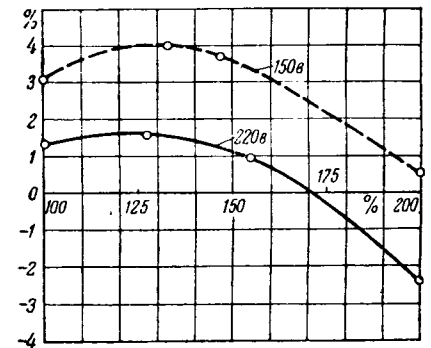


Рис. 7. Кривые погрешностей счетчика типа W₉.

Тип счет- чика	Завод-изготовитель или фирма	Заводской номер	Номиналь- ное напря- жение, В	Номиналь- ный ток, А	Число обо- ротов дис- ка, соответ- ствующее 1 катч
Б ₁	Завод «Электроприбор» МЭП СССР	17 908	127	5	5 000
Б ₁	Завод «Электроприбор» МЭП СССР	нет	220	2,5	3 600
Б ₂	Завод электросчетчи- ков МЭП СССР	587 680	220	5	3 000
W ₈	Сименс-Шуккерт	9 326 886	110	5	6 000
W ₉	Сименс-Шуккерт	19 840 448	220	5	3 000
СТА	Французской компании счетчиков	550 561	110	5	5 000
WE	Изария	81 055	120	5	6 000
EFk	Арон	3 164 112	220	5	2 500

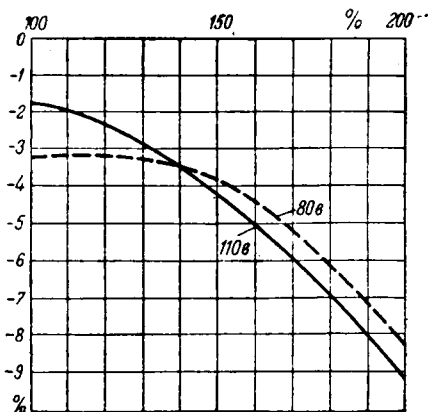


Рис. 8. Кривые погрешностей счетчика типа СТА.

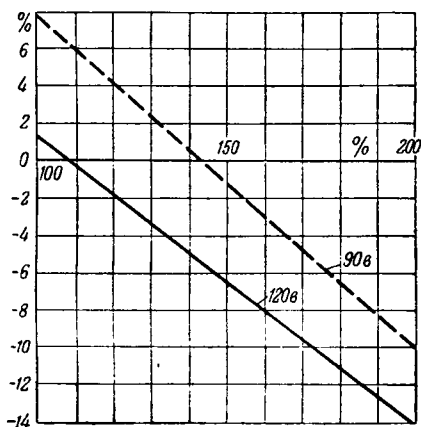


Рис. 9. Кривые погрешностей счетчика типа WE.

напряжении. Кривые показывают, что при пониженном напряжении и перегрузках погрешности у большинства счетчиков не увеличиваются, а уменьшаются по сравнению с погрешностями, получающимися при номинальном напряжении. Только у одного из восьми счетчиков (Арон) нагрузочная кривая, снятая при напряжении 150 в, располагается приблизительно на 0,5 % ниже, чем кривая, снятая при напряжении 220 в. Такой, несколько необычный характер нагрузочной кривой при пониженном напряжении у последнего счетчика легко объясняется формулой (4), где влияние положительной величины второго члена числителя несколько преобладает над отрицательным первым членом $p_1(p_u - 1)$, так как величина p_u при пониженном напряжении у данного счетчика немного меньше единицы. Этот перевес не может быть большим, так как он специально рассчитывается или подбирается экспериментально при конструировании нового типа счетчика.

Выводы. 1. Вопросам организации измерения электрической энергии, исследованию и устранению погрешностей индукционных счетчиков, безусловно, следует уделять большее внимание, так

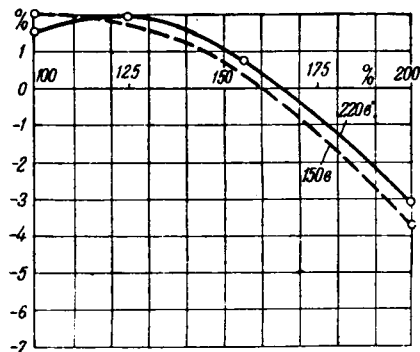


Рис. 10. Кривые погрешностей счетчика типа EF_{κ} .

как неправильное распределение энергии и ее перерасход отдельными потребителями чаще всего связан именно с неточным учетом.

2. Точность учета энергии должна сочетаться с простой и недорогой системой организации этого учета, имея в виду его массовый характер.

С этой точки зрения нельзя согласиться на установку у потребителей кроме счетчика еще и теплового реле [Л. 1], защищающего счетчик от перегрузок. У мелкого потребителя должен быть установлен только один счетчик, с достаточной точностью учитывающий энергию в пределах нагрузок от 0,25 до 20 а и при изменениях напряжения, доходящих до $\pm 20\%$ от номинального.

3. Необходимо поставить перед Министерством электропромышленности вопрос не о расширении выпуска десятиамперных счетчиков, а о разработке и выпуске в ближайшем будущем новых перегрузочных пятиамперных счетчиков, которые в пределах нагрузок от 5 до 400 % от номинальной имели бы основную погрешность не более 1%. Новый тип указанного счетчика необходимо сделать также и таким, чтобы его дополнительная погрешность при изменении напряжения на $\pm 20\%$ от номинального не была больше 1%. Это возможно и желательно, так как наряду с мероприятиями по поддержанию у потребителей нормального напряжения не следует забывать, что одинакового напряжения у каждого счетчика не бывает.

4. Стандарт на счетчики электрической энергии, несомненно, должен быть изменен и именно так, чтобы счетчики класса 1 имели основную погрешность не более 1%, а счетчики класса 2 — не более 2% при всех указанных в новом стандарте нагрузках. Следовательно, новый стандарт на электрические счетчики должен соответствовать ГОСТ 1845-42 на электроизмерительные приборы.

Приложение. Скорость вращения диска счетчика при номинальных нагрузке и напряжении может быть представлена уравнением [Л. 2]

$$n = \frac{D_m \cos \varphi + D_{\kappa} - M_r}{C_m \Phi_m^2 + C_u \Phi_u^2 + C_1 \Phi_1^2},$$

где $D_m \cos \varphi$ — основной вращающий момент;
 D_{κ} — компенсационный момент;

M_r — момент трения;

$C_m \Phi_m^2 n$ — основной тормозящий момент;

$C_u \Phi_u^2 n$ и $C_l \Phi_l^2 n$ — тормозящие моменты от пересечения диском рабочих потоков Φ_u и Φ_l .

Обозначим отношение напряжения U' , действительно подведенного к параллельной обмотке счетчика, к номинальному напряжению U через k , т. е.

$$k = \frac{U'}{U}.$$

Вследствие различной насыщенности участков магнитного пути, по которым замыкаются магнитные потоки в параллельной цепи, рабочий поток Φ'_u , имеющий место в счетчике при напряжении U' , может не быть равным произведению $k\Phi_u$, и поэтому отношение потока Φ'_u к потоку $k\Phi_u$ можно обозначить через p_u :

$$p_u = \frac{\Phi'_u}{k\Phi_u}.$$

Тогда скорость диска счетчика n' при токе нагрузки и напряжении, отличных от номинальных, будет выражаться формулой

$$n' = \frac{mkp_l p_u D_m \cos[\varphi + (\Delta\beta - \Delta\alpha_1)] + (kp_u)^2 D_\kappa - M'_r}{C_m \Phi_m^2 + C_u (kp_u)^2 \Phi_u^2 + C_l (mp_l)^2 \Phi_l^2},$$

где $m = \frac{I'}{I}$ — отношение нагрузок;

$p_l = \frac{\Phi'_l}{m\Phi_l}$ — коэффициент непропорциональности изменения рабочего потока последовательной цепи Φ_l по сравнению с нагрузкой;

$\Delta\beta - \Delta\alpha_1$ — приращение угла сдвига ϕ_0 при изменении нагрузки и напряжения;

M'_r — момент трения у счетчика при скорости n' .

где

$$\frac{A}{A'} = \frac{C_m \Phi_m^2 + C_u \Phi_u^2 + C_l \Phi_l^2}{C_m \Phi_m^2 + C_u (kp_u)^2 \Phi_u^2 + C_l (mp_l)^2 \Phi_l^2};$$

$$a_\kappa = \frac{D_\kappa}{D_{100}}; \quad a_r = \frac{M_r}{D_{100}}; \quad a'_r = \frac{M'_r}{D_{100}}.$$

После преобразований имеем

$$\frac{A}{A'} = \frac{1}{1 + \frac{C_u \Phi_u^2}{A} [(kp_u)^2 - 1] + \frac{C_l \Phi_l^2}{A} [(mp_l)^2 - 1]},$$

или приближенно

$$\frac{A}{A'} \approx \frac{1}{1 + a_u [(kp_u)^2 - 1] + a_l [(mp_l)^2 - 1]},$$

где

$$a_u = \frac{M_u}{D_{100}} \approx \frac{C_u \Phi_u^2}{A} \quad \text{и} \quad a_l = \frac{M_l}{D_{100}} \approx \frac{C_l \Phi_l^2}{A}.$$

Следовательно:

$$\frac{n'}{n} = \frac{mkp_l p_u [1 + (\Delta\beta - \Delta\alpha_1) \operatorname{tg} \varphi] + (kp_u)^2 a_\kappa - a'_r}{(1 + a_\kappa - a_r) \{1 + a_u [(kp_u)^2 - 1] + a_l [(mp_l)^2 - 1]\}}.$$

Выражение для погрешности с учетом возможности изменения нагрузки и напряжения будет иметь вид:

$$\gamma_\kappa = \frac{n'}{n m k} - 1$$

или

$$\gamma_\kappa = \frac{p_l p_u [1 + (\Delta\beta - \Delta\alpha_1) \operatorname{tg} \varphi] + \frac{(kp_u)^2 a_\kappa - a'_r}{mk}}{(1 + a_\kappa - a_r) \{1 + a_u [(kp_u)^2 - 1] + a_l [(mp_l)^2 - 1]\}} - 1.$$

После приведения к общему знаменателю имеем:

$$\gamma_\kappa = \frac{p_l p_u [1 + (\Delta\beta - \Delta\alpha_1) \operatorname{tg} \varphi] + \frac{(kp_u)^2 a_\kappa - a'_r}{mk} - (1 + a_\kappa - a_r) a_u [(kp_u)^2 - 1] - (1 + a_\kappa - a_r) \{1 + a_l [(mp_l)^2 - 1]\}}{(1 + a_\kappa - a_r) \{1 + a_u [(kp_u)^2 - 1] + a_l [(mp_l)^2 - 1]\}}. \quad (1)$$

Обозначая вращающий момент при номинальной нагрузке $D_m \cos \varphi$ через D_{100} и принимая во внимание малое значение углов $\Delta\beta - \Delta\alpha_1$, найдем, что отношение скоростей

$$\frac{n'}{n} = \frac{mkp_l p_u [1 + (\Delta\beta - \Delta\alpha_1) \operatorname{tg} \varphi] + (kp_u)^2 a_\kappa - a'_r}{1 + a_\kappa - a_r} \cdot \frac{A}{A'},$$

Литература

1. Г. В. Сербиновский и Э. С. Иохвидов. Электричество, № 1, 1948.
2. П. Н. Горюнов и С. М. Пигин. Электричество, № 8, 1948.

[14. 3. 1949]



Основные вопросы изоляции обмоточных проводов

Проф. В. А. ПРИВЕЗЕНЦЕВ

Москва

В настоящее время основными типами обмоточных проводов являются провода с бумажной, хлопчатобумажной и эмалированной изоляцией, а также с комбинированной изоляцией из эмали и хлопчатобумажной пряжи и из эмали и натурального шелка (последний вид изоляции применяется, главным образом, для проводов малых диаметров — $0,05 \div 0,5$ мм). Нагрево-

стойкие обмоточные провода изготавливаются с дельта-асбестовой и стеклянной изоляцией. Кроме того, выпускаются провода круглых и прямоугольных сечений с эмалевым покрытием особо высокой механической прочности (провода винифлекс и металвин), которые могут применяться для секционных обмоток без дополнительных покрытий из волокнистых материалов.

Указанный ассортимент обмоточных проводов часто не удовлетворяет возрастающим требованиям электромашиностроительных заводов. Отсутствие более совершенных конструкций обмоточных проводов в ряде случаев задерживает создание новых типов электрических машин. В связи с этим весьма важно рассмотреть основные вопросы конструирования обмоточных проводов и развития их производства.

Освещается техника современного производства обмоточных проводов. Указаны новые требования, которые выдвигаются электромашиностроительной промышленностью к обмоточным проводам; намечены пути удовлетворения этих требований путем создания новых конструкций и рационализации существующих. Приведены соображения о расширении ассортимента эмалированных проводов, рационализации сечений прямоугольных проводов и указаны мероприятия по улучшению качества проводов с асбестовой и стекловолоконистой изоляцией. Статья, составленная по материалам докладов автора на заседаниях Всесоюзного бюро электрической изоляции в феврале и в апреле 1949 г., печатается в порядке обсуждения, и отклики читателей по ней будут напечатаны в последующих номерах журнала.

Рационализация конструкций круглых обмоточных проводов с эмалевой и хлопчатобумажной изоляцией. Эмалированные провода круглого сечения в настоящее время находят наибольшее применение в электромашиностроении. Помимо высоких электрических свойств изоляции (что не должно снижать усилий работников кабельной промышленности по даль-

нейшему повышению качества этих проводов), эмалированные провода имеют значительно меньшую толщину изоляции и более дешевы в сравнении с другими конструкциями обмоточных проводов.

Коэффициент заполнения паза в электрических машинах зависит от отношения

$$\eta = \frac{q_m}{q_u}, \quad (1)$$

где q_m — сечение провода по меди;

q_u — сечение провода в изоляции.

На рис. 1 приведены значения η , а на рис. 2 — сравнительная стоимость 1 м проводов различных конструкций в зависимости от диаметра голой проволоки. При сравнении стоимости проводов следует также учитывать отношение: веса изоляции к полному весу изолированного провода (рис. 3); чем меньше эта величина, тем меньше будет весить определенная длина провода данного сечения (по меди). Это обстоятельство можно учесть при сравнении двух типов проводов (с параметрами $\alpha = \alpha_1$ и $\alpha = \alpha_2$) коэффициентом

$$\beta = \frac{1 - \alpha_1}{1 - \alpha_2}. \quad (2)$$

Преимущества голых эмалированных проводов и проводов марки ПЭЛБО совершенно очевидны. Между тем, эти провода с диаметром выше 1,65 мм у нас не изготавливаются, вслед-

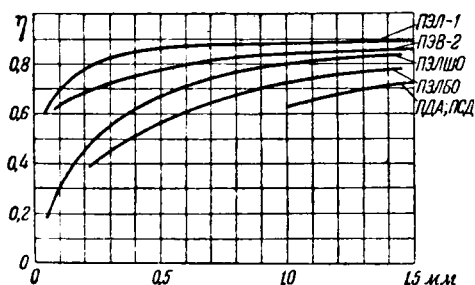


Рис. 1. Коэффициент η в зависимости от диаметра по меди для обмоточных проводов различных марок.

ствие чего более крупные сечения обмоточных проводов идут главным образом марки ПБД; это связано с повышением толщины изоляции проводов и в два раза увеличенным расходом пряжи по сравнению с проводом марк ПЭЛБО.

Практически быстро осуществимо повышение диаметра выпускаемых эмалированных проводов до 2,44 мм, что могло бы в значительной степени устранить указанный пробел.

Расширение выпуска эмалированных проводов винифлекс и металвин и снижение их стоимости. Организация производства проводов винифлекс с применением новейших методов эмалирования является важнейшим достижением ВЭИ (работы К. А. Андрианова) и нашей кабельной промышленности.

Провода винифлекс круглого сечения обладают прекрасными электрическими и механическими характеристиками. При испытании эластичности и нагревостойкости эмалированные провода навиваются на цилиндр, диаметр которого в n раз более диаметра провода d (рис. 4); при этом в слое эмали не должны появляться трещины. В этом случае максимальная относительная деформация эмалевого покрытия определится уравнением

$$\varepsilon = \frac{(n+2)d - (n+1)d}{(n+1)d} = \frac{1}{n+1}. \quad (3)$$

Если намотка на цилиндр производится с натяжением σ кг/мм², то необходимо учесть и деформацию растяжения, т. е. в этом случае

$$\varepsilon = \frac{1}{n+1} + \frac{\sigma}{E},$$

где E — модуль упругости отожженной меди.

Для проводов, эмалированных масляными лаками, при температуре 20° С, а также после 24 час. выдержки при 100° С наименьшая величина $n = 3 \div 4$. Для проводов винифлекс $n = 1 \div 3$, как в состоя-

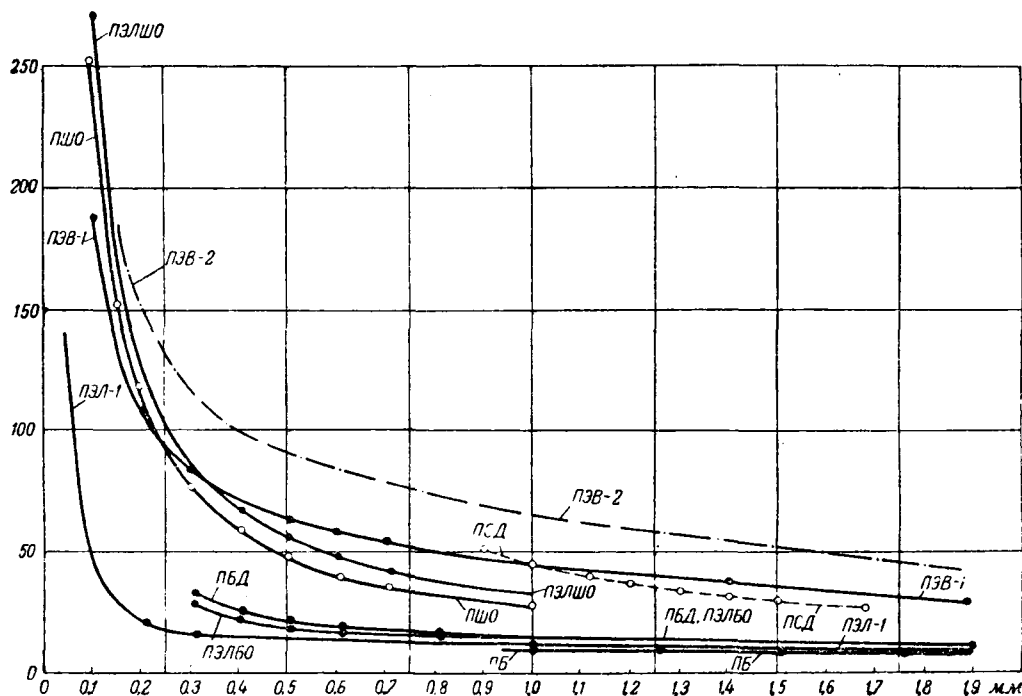


Рис. 2. Сравнительная стоимость 1 т обмоточных проводов различных марок в зависимости от диаметра по меди.

нии поставки, так и после 7 суток выдержки при 125° С, т. е. максимальная деформация пленки без появления на ней механических повреждений может достигать 50%. Механическая прочность эмалевого покрытия круглых проводов винифлекс, определяемая скребковым прибором или истиранием с помощью беличьего колеса, также выше (в 7 ÷ 15 раз), чем у проводов ПЭЛ-1.

Проведенные исследования показали другие существенные преимущества проводов винифлекс в сравнении с проводами ПЭЛ-1: более равномерную толщину эмалевого покрытия по окруж-

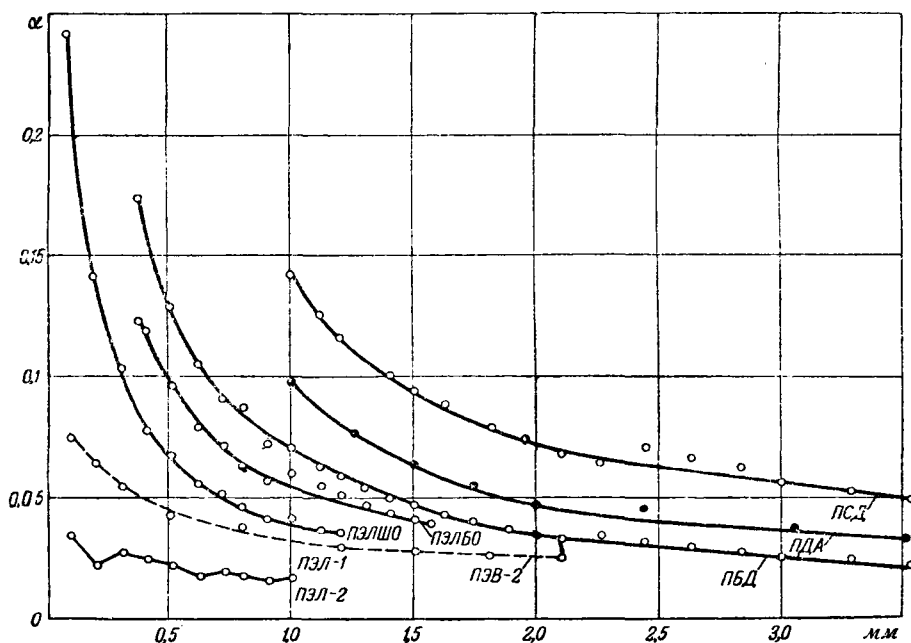


Рис. 3. Коэффициент α в зависимости от диаметра по меди для обмоточных проводов различных марок.

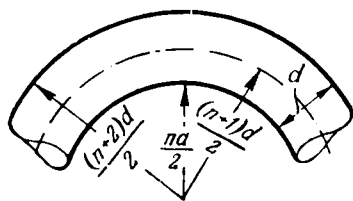


Рис. 4. Схема испытания эмалированного провода намоткой на цилиндр.

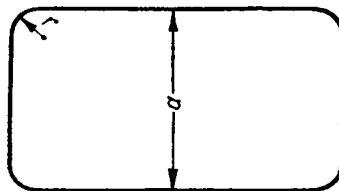


Рис. 5.

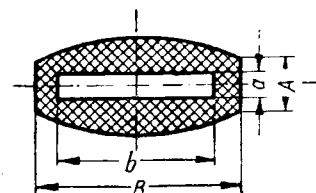


Рис. 6.

ности сечения провода, меньшее число точечных повреждений и более высокую бензиностойкость.

Хотя для отдельных сечений прямоугольных проводов винифлекс, которые в процессе изготовления секций обмоток подвергаются усиленной деформации, требуется еще доработка некоторых вопросов рецептуры лака, доказано, что все круглые провода и значительная часть прямоугольных сечений проводов винифлекс могут с успехом применяться в секционных намотках, заменяя провода с хлопчатобумажной, шелковой и тому подобной изоляцией. При этом помимо экономии особо дефицитных и дорогих сортов хлопчатобумажной пряжи и натурального шелка значительно повышается коэффициент заполнения паза (рис. 1). Однако, провода винифлекс даже круглого сечения пока находят очень ограниченный круг потребителей, главным образом, из-за высокой стоимости винифлексового лака, что в свою очередь частично объясняется сложной производственной кооперацией между различными производственными и исследовательскими организациями МХП. Сосредоточение производства лака винифлекс в системе одного-двух тесно кооперированных заводов и осуществление других мероприятий по снижению стоимости этого лака дало бы большие возможности электромашино- и аппаратостроительной промышленности в деле совершенствования и удешевления своей продукции.

Рационализация конструкций обмоточных проводов прямоугольных сечений. Медная проволока прямоугольных сечений, на которую накладывается стекловолоконная, дельта-асбестовая, хлопчатобумажная, эмалевая и тому подобная изоляция, в соответствии с ГОСТ 434-41 должна иметь закругленные края, чтобы острые ребра не врезались в изоляцию. Таблица расчетных сечений указанного стандарта (с учетом последнего дополнения к нему) предусматривает уменьшение прямоугольных сечений на $0,2 \div 0,21 \text{ мм}^2$, т. е. радиус закруглений r (рис. 5) для ходовых сечений считается равным $0,3 \div 0,5 \text{ мм}$. Можно показать, что при наложении волокнистой изоляции давление изоляции на провод

$$p = \frac{\text{const}}{r}, \quad (4)$$

где r — радиус закругления провода.

При обмотке прямоугольных проводов с малым радиусом закруглений такими материалами, как стеклянное волокно, ацетатный шелк, триацетатная пленка, возможно повреждение изоля-

ции. Повышенное давление является также одной из причин увеличения толщины изоляции на широкой стороне провода (рис. 6), т. е.

$$B - b < A - a. \quad (5)$$

В настоящее время некоторые наши кабельные заводы выпускают эмалированные провода прямоугольных сечений. Ослабленным местом изоляции этих проводов также являются ребра, так как толщина эмалевого слоя на них меньше, чем на плоской стороне провода. Отчасти это объясняется избыточным давлением на ребрах пленки в момент покрытия провода лаком, что является следствием одного из основных положений физики поверхностей; разность давлений с вогнутой и выпуклой стороны пленки может быть представлена уравнением

$$p_1 - p_2 = \gamma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (6)$$

где γ — коэффициент поверхностного натяжения (свободная энергия единицы поверхности) и R_1 и R_2 — радиусы главной кривизны. При эмалировании прямоугольной проволоки с малыми радиусами закруглений будет существовать стремление пленки в местах закруглений сжаться и перейти на плоскую часть поверхности проволоки.

Устранение указанных недостатков можно осуществить, если для прямоугольных проводов толщиной до $1,35 \text{ мм}$ принять закругленную форму краев с радиусом закругления $r = \frac{1}{2} a$, где a — толщина провода (рис. 7), а для более толстых проводов принять радиус закругления в пределах $r = 0,7 \div 2,0 \text{ мм}$. Относительное уменьшение расчетного сечения против значений, указанных в ГОСТ 434-41, для прямоугольной проволоки толщиной менее $1,35 \text{ мм}$ будет выражаться уравнением

$$\delta = \frac{a^2 - \frac{\pi}{4} \cdot a^2 - \xi}{ab - \xi},$$

а для более толстых проводов

$$\delta = \frac{4r^2 - \pi r^2 - \xi}{ab - \xi}, \quad (7)$$

где r — радиус закругления, мм;

ξ — уменьшение сечения, учтенное в расчетных таблицах ГОСТ 434-41. Принципиально величину δ можно даже не-

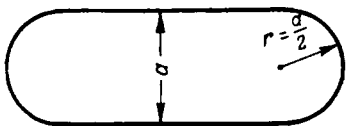


Рис. 7.

сколько уменьшить, приняв для узкой стороны эллипсовидную форму (рис. 8). В этом случае относительное уменьшение сечения против расчетного по ГОСТ 431-41 может быть представлено уравнением

$$\delta = \frac{ac \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) - \xi}{ab - \xi} \quad (8)$$

Среди других мероприятий по усовершенствованию конструкций прямоугольных проводов в первую очередь следует признать расширение производства прямоугольных проводов винифлекс, а также выявление возможности эмалирования прямоугольных проводов обычными эмальяками повышенной вязкости. Успешное решение этой задачи позволило бы заменить значительную часть прямоугольных обмоточных проводов марки ПБД маркой ПЭЛБО, что весьма сократило бы расход хлопчатобумажной пряжи и дало бы ряд других серьезных преимуществ (значительное снижение толщины изоляции, улучшение ее электрических характеристик и повышение почти в два раза теплопроводности и т. д.).

Основные мероприятия по улучшению обмоточных проводов со стеклянной изоляцией. Производство проводов со стеклянной изоляцией нуждается в осуществлении ряда технических мероприятий. Прежде всего необходимо расширить ассортимент круглых проводов в сторону малых сечений (примерно до диаметра $0,1 \div 0,5$ мм). Это связано с применением стеклянной пряжи различной толщины, как и при обмотке хлопчатобумажной пряжей. Если учесть, что одним из основных недостатков выпускаемых в настоящее время проводов со стеклянной изоляцией марки ПСД является значительная толщина изоляции, существенно превышающая для ряда размеров толщину изоляции проводов марки ПБД, становится очевидной необходимость применения нескольких номеров стеклянной пряжи для обеспечения выпуска проводов в нужном ассортименте.

Диаметр элементарного волокна стеклянной пряжи можно определить из уравнения

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi \gamma N \cdot 100}} \quad (9)$$

где γ — плотность волокна;

N — номер волокна (число метров в 1 г).

При прядении элементарные волокна стремятся занять наиболее устойчивое концентрическое расположение вокруг некоторого центрального волокна. В этом случае число элементарных волокон в крученой нити можно выразить уравнением

$$K = 3m(m-1) + 1, \quad (10)$$

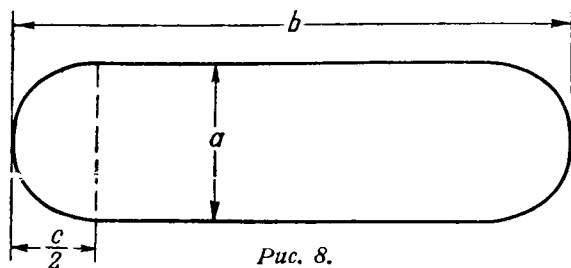


Рис. 8.

где m — число повивов. Коэффициент заполнения крученой нити

$$\eta = \frac{[3m(m-1)+1]\pi \frac{d^2}{4}}{(2m-1)^2 \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{3}{4} \frac{(m^2 - m + 0,33)}{(m^2 - m + 0,25)} \quad (11)$$

Из (11) следует, что η несколько больше 0,75 и стремится к этому значению с увеличением n . При наложении стеклянной изоляции скрученные нити несколько расплющиваются, причем величина расплющивания, в значительной степени определяющая толщину изоляции, в свою очередь будет в известной степени зависеть от η и соответственно от m . Для обмотки круглых проводов тонких сечений весьма желательно применение пряжи с высоким числом элементарных нитей в крученой нити, т. е. с возможно малым диаметром элементарных волокон (не выше 3—4 мкм). Это требование в еще большей степени вызывается необходимостью получения возможно гибкой пряжи, элементарные волокна которой могли бы без повреждений наматываться на провод.

Помимо создания определенного ассортимента стекловолокна для изготовления обмоточных проводов необходимо быстрее внедрение в кабельной технике уже освоенного нашей промышленностью стекловолокна с пониженным количеством замасливателя, так как только в этом случае возможно применение качественных пропитывающих лаков, а также создание поверх обмотки стекловолокном тонкой ($0,03 \div 0,04$ мм) лаковой пленки. Наличие такой пленки значительно повышает электрические и механические характеристики проводов и предохраняет стеклянную изоляцию от повреждений.

Радикальным мероприятием в деле совершенствования проводов со стеклянной изоляцией следует считать переход на провода марки ПЭТСО, т. е. на применение изоляции из нагревостойкой эмали с однослойной обмоткой стекловолокном. Для проводов круглого сечения под обмотку можно использовать эмалированную проволоку с применением глифталевых или карбамидных эмальяков, а для проводов прямоугольного сечения — провода винифлекс с усовершенствованием формы голой проволоки (см. выше) или провода, эмалированные глифталиевыми лаками. Это мероприятие помимо улучшения электрических и механических характеристик проводов позволит более чем в два раза сократить расход стекловолокна.

Мероприятия по улучшению качества проводов с дельта-асбестовой изоляцией. Дополнительные требования электромашиностроительной промышленности к выпускаемым в настоящее время проводам ПДА сводятся к снижению толщины изоляции до величин, соответствующих марке ПБД, так как только это создаст возможность массового применения этих проводов для обмоток машин. Кроме того, требуется повышение некоторых механических характеристик проводов (сопротивление истиранию, эластичность изоляции) и лакостойкости. Весьма желательно освоение производства этих проводов в диапазоне диаметров $0,5 \div 0,9$ мм. Разрешение перечисленных вопросов способствовало бы более широкому применению проводов ПДА, так как, обладая повышенной нагревостойкостью, эти провода вместе с тем на 2—10% дешевле, чем провода марки ПБД. Для повышения качества проводов ПДА следует применять комбинирование дельта-асбестовой изоляции с нагревостойкой эмалью (так же, как и в проводах со стеклянной изоляцией). В этом случае электрические и тепловые характеристики проводов должны резко повыситься, а наличие эмалевого слоя даст возможность некоторого уменьшения толщины асбестового слоя. Рационализация формы прямоугольных медных проводов, о которой говорилось выше, будет способствовать уменьшению количества дефектов в изоляции, значительная часть которых объясняется ребристостью прямоугольных сечений.

Важным мероприятием для уменьшения толщины асбестовой изоляции является применение при изготовлении проводов ПДА асбестового волокна марки Крюд-АА, элементарные волокна которых имели бы длину не менее 18 мм и были бы весьма тонкими. Прочность прилипания асбестового слоя к проводу в значительной степени будет определяться длиной элементарных волокон, а сцепление волокон друг с другом будет зависеть от их диаметра. В самом деле, для двух образцов асбестовой ровницы одного и того же номера N_p , но с разным количеством элементарных волокон n и n' номера N_g и N'_g , мы можем написать:

$$n = \frac{N_g}{N_p}; \quad n' = \frac{N'_g}{N'_p}; \quad \frac{n}{n'} = \frac{N_g}{N'_g}. \quad (12)$$

Отношение сумм поверхностей элементарных волокон ΣS_g и $\Sigma S'_g$ на единицу длины ровницы или пряжи определяется уравнением

$$\frac{\Sigma S_g}{\Sigma S'_g} = \frac{nS}{n'S'} = \frac{\pi \cdot n \cdot d}{\pi \cdot n' \cdot d'} = \frac{n \cdot d}{n' \cdot d'}, \quad (13)$$

а так как

$$\frac{d}{d'} = \frac{\sqrt{N'_g}}{\sqrt{N_g}}, \quad \text{то} \quad \frac{\Sigma S_g}{\Sigma S'_g} = \frac{\sqrt{N_g}}{\sqrt{N'_g}}, \quad (14)$$

т. е. поверхность соприкосновения волокон повышается с уменьшением их диаметра. Это вместе с высокой длиной волокон имеет существенное значение для качества изоляции проводов ПДА.

Важным мероприятием в области производства проводов с дельта-асбестовой изоляцией является также применение более высококачественных подклеивающих и пропитывающих лаков. В настоящее время для подклейки применяется глифталевый, а для пропитки — битумный лак. Можно полагать, что некоторого улучшения механических свойств изоляции проводов ПДА можно добиться применением для подклейки и пропитки некоторых типов глифталевых лаков. Однако, более радикальным мероприятием следует считать применение кремнийорганических лаков, что должно значительно повысить электрические и механические свойства проводов.

Значительного улучшения качества проводов ПДА можно также добиться, если поверх асбестовой изоляции накладывать тонкую нагревостойкую лаковую пленку. Эта пленка помимо улучшения электрических и механических характеристик проводов будет в значительной степени облегчать укладку их в пазах и предохранять при этом асбестовую изоляцию от повреждений.

Новые типы обмоточных проводов. Провода с пленочной изоляцией представляют огромный интерес для нашей электромашиностроительной промышленности. Среди большего числа известных типов изоляционных пленок (пленки из гидратцеллюлозы, из эфиров целлюлозы, из обычной и хлорированной хлорвиниловой массы, из полиамидных соединений и т. д.), наибольший интерес для производства обмоточных проводов представляют пленки из эфиров (триацетат, трипропионат, ацетобутрат и т. д.) целлюлозы, в особенности из триацетата целлюлозы. Эти пленки, изготавливаемые толщиной 0,02 мм и выше, обладают прекрасными электрическими и механическими характеристиками (пробивная прочность $90 \div 100$ кВ/мм; $\text{tg } \delta = 0,01 \div 0,014$; $\rho_v = 1 \cdot 10^{14} \div 1 \cdot 10^{15}$ ом·см; $\epsilon = 3,5 - 4$; разрывная прочность $6,5 \div 12$ кг/мм²; удлинение 20—35%). Пленка накладывается на провода с прочной подклейкой, причем нанесение лака на пленку возможно в процессе обмотки проводов. Еще более совершенным является нанесение лакового слоя на пленку в процессе ее изготовления, причем размягчение и появление клейкости этого слоя наступает лишь при нагреве пленки до $130 \div 150^\circ\text{C}$. Наложение лент из пленки можно производить в виде обычной обмотки, причем следует давать перекрытие витков: при однослойной обмотке до 50% и при многослойной обмотке до 20—25%. При обмотке провода диаметром d ширина ленты определяется уравнением

$$b = \pi d \sin \alpha (1 + k), \quad (15)$$

где α — угол обмотки;

k — величина относительного перекрытия.

При наложении пленочной изоляции на круглый провод можно использовать новый для кабельной техники способ продольного наложения пленки, заключающийся в том, что пленка с клеящим подслоем в нагретом состоянии касается провода (рис. 9). Провод затем проходит че-

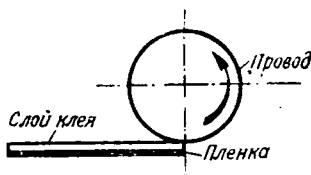


Рис. 9. Начальный момент подклейки пленки к проводу.

рез винтообразный жолоб и на длине около $2 \div 3$ м закручивается $2 \div 3$ раза вокруг своей оси, благодаря чему пленка обвивает провод, слои плотно склеиваются друг с другом. Новый метод может осуществляться со скоростями, во много раз превышающими линейные скорости при наложении изоляции спиральной обмоткой.

Ширину лент для наложения n слоев на провод диаметром d можно определить по формуле

$$b = \pi \cdot n [d + (n + 1)(h + f)], \quad (16)$$

где f — толщина пленки;

h — толщина слоя клея.

Для наложения с перекрытием ширина ленты обычно увеличивается на $\frac{1}{4}$ диаметра изолированного провода, так что

$$b = \pi \cdot n [d + (n + 1)(h + f)] + 0,25[2n(h + f) + d]. \quad (17)$$

Провода с пленочной изоляцией обладают огромными преимуществами над обмоточными проводами с хлопчатобумажной и бумажной изоляцией. Толщина изоляции этих проводов может быть в пределах $0,075 \div 0,10$ мм, т. е. значительно ниже, чем у проводов других конструкций. Пробивное напряжение изоляции — $5000 \div 7000$ в, т. е. почти в 10 раз выше, чем у проводов ПБД и ПДА. Провода с пленочной изоляцией обладают высокой влагостойкостью и могут применяться при изготовлении электрических машин, которые должны работать в условиях повышенной влажности. Если учесть, что рассматриваемые провода могут длительно работать при температуре $100 \div 110^\circ \text{C}$, становится вполне ясным, какие перспективы сулит внедрение новой изоляции в производстве обмоточных проводов.

Значительный интерес представляет также применение в производстве обмоточных проводов вместо натурального шелка искусственных волокон. Среди всех известных видов искусственных волокон наибольший интерес представляют волокна из эфиров целлюлозы. Эти волокна, как и пленки из эфиров целлюлозы, обладают хорошими электрическими характеристиками и низкой

гигроскопичностью. Однако, они имеют низкую разрывную прочность ($11 \div 23$ кг/мм²), в то время как прочность натурального шелка около 60 кг/мм². Поэтому волокна из эфиров целлюлозы можно рекомендовать только для изолирования схемных и монтажных проводников, которые имеют повышенную толщину изоляции, а обмотка и оплетка которых происходит при сравнительно небольших рабочих скоростях.

Полноценными заменителями натурального шелка являются полиамидные волокна (капрон). Они имеют разрывную прочность, примерно равную прочности натурального шелка, и удлинение при разрыве $12 \div 20\%$. Эти волокна обладают малой гигроскопичностью, прекрасной погодо- и светостойкостью и т. д. Опыты по применению отечественных полиамидных волокон в качестве изоляции обмоточных проводов дали удовлетворительные результаты, и в настоящее время задача заключается лишь в получении волокон надлежащей тонины (соответствующей тонине натурального шелка). При наличии таких волокон выпуск кабельными заводами новых обмоточных проводов взамен изолированных натуральным шелком будет осуществлен в самый короткий срок.

Из рис. 2 нетрудно убедиться, что в настоящее время бумажная изоляция является наиболее экономичной. Между тем, этот вид изоляции до сих пор находит явно недостаточное применение в производстве обмоточных проводов, в особенности, если принять во внимание имеющиеся достижения в производстве изоляционных бумаг. Поэтому большой интерес представляет замена натурального шелка и хлопчатобумажной пряжи специальными сортами изоляционной бумаги. Испытания показывают весьма высокие электрические и механические характеристики новых проводов, которые к тому же имеют значительно меньшую толщину изоляции, чем при применении хлопчатобумажной пряжи. Необходимая механическая прочность изоляции достигается подклейкой бумажных лент к проводу, а также отдельных повивов между собой. Необходимо, чтобы электромашиностроительные заводы уделяли большое внимание этим проводам, так как внедрение массового производства их даст огромную экономию хлопчатобумажной пряжи и частично шелка.

Кроме того, мы считаем целесообразным отменить в проводах прямоугольного сечения марки ПББО скрепляющую (несплошную) обмотку хлопчатобумажной пряжей поверх бумажной изоляции, заменив ее подклейкой верхнего бумажного слоя. Помимо значительной экономии хлопчатобумажной пряжи будет достигнуто снижение толщины изоляции.

Устойчивость горения дуги переменного тока

Кандидат техн. наук, доц. Г. С. БОРЧАНИНОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Исследование явлений и процессов в цепях, содержащих электрическую дугу, представляет большие трудности по двум причинам.

Выводятся дифференциальные уравнения состояния электрических цепей, содержащих электрическую дугу, и рассматривается влияние внешнего сопротивления на устойчивость горения дуги переменного тока.

его методы справедливы для решения задач об устойчивости и других видов движения, в частности, для исследования электрических про-

а) Напряжение на дуге зависит от многих факторов: тока в дуге, скорости его изменения, расстояния между электродами, материала электродов, среды, в которой горит дуга, структуры и состояния среды, окружающей дугу. Причем зависимость напряжения на дуге от большинства перечисленных факторов не может быть выражена аналитически.

б) Ток в дуге и характер его изменения определяются не только действующими в сети э. д. с. и сопротивлениями ее цепей, но и напряжением на самой дуге. Таким образом, между состоянием дуги и внешними цепями существует двухсторонняя зависимость.

При решении конкретных задач, которые возникают при исследованиях цепей, содержащих дугу, допускаются различные упрощения. В частности, двухсторонняя зависимость между состоянием дуги и внешними цепями заменяется односторонней зависимостью, что дает возможность сосредоточить все внимание либо на процессах в разрядном промежутке, отвлекаясь от влияний внешних цепей, либо на процессах во внешних цепях, заменяя сложное явление дугового разряда постоянным или переменным сопротивлением.

Задачей статьи является исследование влияния внешних цепей на устойчивость горения дуги переменного тока без грубых и неосторожных упрощений.

Дуга переменного тока за каждые полпериода проходит два различных состояния: состояние *A*—обычного дугового разряда, занимающее при устойчивой дуге большую часть полупериода, и менее изученное особое состояние *B* при малых значениях тока вблизи прохождения через нуль. Для исследования условий перехода одного состояния дугового разряда в другое удобно применить методы А. М. Ляпунова [Л. 1]. А. М. Ляпунов решил общую задачу об устойчивости механического движения, однако

В дальнейшем будет сохранена терминология, введенная А. М. Ляпуновым и используемая его последователями [Л. 2, 3].

Уравнения электрических цепей, содержащих дугу. В общем случае в цепях, электрически или магнитно связанных с контуром, содержащим электрическую дугу, могут находиться сопротивления, индуктивности и емкости. Пусть в отдельных участках рассматриваемой сети протекают *n* различных токов, тогда могут быть составлены *k* уравнений контуров вида:

$$\sum_{i=1}^n \left(l_i \dot{i}_i + r_i i_i + \frac{1}{c_i} q_i \right) + u = e_i \sin(\omega t + \psi_i), \quad (s = 1, 2, 3 \dots k), \quad (1)$$

где i_i — токи в участках сети;

q_i — заряды емкостей;

u — напряжение на дуге, находящейся в одном из контуров сети;

e_i — э. д. с. генераторов, находящихся в некоторых контурах сети, работающих синхронно с частотой ω сдвинутых по фазе между собой на некоторые электрические углы, учитываемые слагаемыми ψ_i .

Сопротивления, индуктивности и емкости участков сети принимаются постоянными, причем

$$r_i \geq 0, \quad l_i \geq 0, \quad c_i \geq 0.$$

К уравнениям (1) могут быть добавлены *l* уравнений узлов:

$$\sum_{i=1}^n i_i = 0 \quad (s = 1, 2, 3, \dots l). \quad (2)$$

При этом

$$k + l = n. \quad (3)$$

Указанные n уравнений содержат $n + 1$ неизвестное:

$$u, i_1, i_2, i_3, i_4 \dots i_n. \quad (4)$$

Назовем уравнениями невозмущенного движения уравнения, представляющие частный случай (1) и (2) и изображающие определенное движение, т. е. определенный электрический процесс в нашей сети:

$$\sum_{i=1}^n \left(l_i i'_{i0} + r_i i_{i0} + \frac{q_{i0}}{c_i} \right) + u_0 = e_i \sin(\omega t + \psi_i) \quad (s = 1, 2, 3, \dots k) \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n i_{i0} = 0 \quad (s = 1, 2, 3, \dots l). \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) справедливы для любого момента времени и содержат также $n + 1$ неизвестное:

$$u_0, i_{10}, i_{20}, i_{30}, \dots, i_{n0}. \quad (7)$$

Уравнения (1) и (2) для переменных (4) изображают, будем говорить, возмущенные движения, если входящие в них переменные по каким-либо причинам отличны от переменных (7). Другими словами, электрические процессы в сети, по каким-либо причинам отличающиеся от процесса, изображаемого уравнениями (5) и (6), будем называть возмущенными процессами. Разности

$$u - u_0 = \Delta u, \quad i_1 - i_{10} = \Delta i_1, \quad i_2 - i_{20} = \Delta i_2, \dots, i_n - i_{n0} = \Delta i_n \quad (8)$$

называются по Ляпунову возмущениями. Когда эти разности равны нулю, возмущенное движение переходит в невозмущенное. Ляпуновское уравнение возмущенного движения получается вычитанием уравнений (5) и (6) из уравнений (1) и (2):

$$\sum_{i=1}^n \left(l_i \Delta i'_i + r_i \Delta i_i + \frac{\Delta q_i}{c_i} \right) + \Delta u = 0 \quad (s = 1, 2, 3 \dots k) \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta i_i = 0 \quad (s = 1, 2, 3 \dots l). \quad (10)$$

Пусть при

$$t < t_0 \quad \Delta u = 0, \quad \Delta i_i = 0, \quad \Delta i'_i = 0, \quad \Delta q_i = 0,$$

при

$$t = t_0 \quad \Delta u = \Delta u_0, \quad \Delta i_i = \Delta i_{i0}, \quad \Delta i'_i = \Delta i'_{i0},$$

при

$$t > t_0 \quad \Delta u \geq \Delta u_0, \quad \Delta i_i \geq \Delta i_{i0}, \quad \Delta i'_i \geq \Delta i'_{i0},$$

$$\Delta q_i > 0, \quad (i = 1, 2, 3 \dots n), \quad (11)$$

т. е. в момент времени t_0 в сети возникло возмущение, вызванное кратковременным действием некоторой причины, которая существует только при $t = t_0$ и отсутствует при $t \geq t_0$.

Изменившееся возмущенное движение будет протекать при действии тех же внешних причин, которые действовали при невозмущенном движении. Другими словами, внешние э. д. с. и внешние условия горения дуги остались такими же, каковы они были при невозмущенном динамическом состоянии электрической сети. Тогда возмущенное движение либо будет постепенно приближаться к невозмущенному, либо постепенно удаляться от него. Случай $\Delta u = \Delta u_0$, $\Delta i_i = \Delta i_{i0}$, $\Delta i'_i = \Delta i'_{i0}$ не рассматривается, как не представляющий интереса. Исследование уравнений возмущенного движения (9) и (10) дает возможность установить, при каких условиях все

$$\Delta u < \Delta u_0, \quad \Delta i_i < \Delta i_{i0}, \quad \Delta i'_i < \Delta i'_{i0} \quad (i = 1, 2, 3, \dots n), \quad (12)$$

т. е. движение асимптотически устойчиво¹, и при каких условиях

$$\Delta u > \Delta u_0, \quad (13)$$

т. е. движение неустойчиво. Неравенство (13) соответствует условиям, при которых дуговой разряд переходит из одного состояния в другое.

При неизменных внешних условиях горения дуги напряжение на дуге

$$u = f(i, i', i'' \dots t),$$

где i — ток в дуге.

Ограничимся рассмотрением случаев, когда напряжение на дуге не зависит от высших производных тока и времени

$$u = f(i, i'). \quad (14)$$

Возмущение напряжения в этих случаях представится:

$$\Delta u = \frac{\partial u}{\partial i} \Delta i + \frac{\partial u}{\partial i'} \Delta i' + X, \quad (15)$$

где X — сумма членов, зависящих от тока в дуге и скорости его изменения в степенях выше первой. Если подставить выражение (15) при $X = 0$ в уравнения (9), то получатся уравнения первого приближения или уравнения в вариациях Пуанкаре. В уравнениях первого приближения присутствуют среди других члены:

$$r \Delta i + l \Delta i' + \frac{\partial u}{\partial i} \Delta i + \frac{\partial u}{\partial i'} \Delta i' = \left(r + \frac{\partial u}{\partial i} \right) \Delta i + \left(l + \frac{\partial u}{\partial i'} \right) \Delta i' = r' \Delta i + l' \Delta i', \quad (16)$$

которые включают в себя имеющиеся в уравнениях (9) дополнительные члены Δu . Если в уравнениях (9) произвести замену коэффициентов в соответствии с (16), то уравнения пер-

¹ В электрических сетях рассматриваемого вида возможны только асимптотически устойчивые процессы.

вого приближения возмущенного движения для контуров, содержащих дугу, примут такой же вид, как и для всех прочих контуров сети:

$$\sum_{i=1}^n (l \Delta i_i + r_i \Delta i_i + \frac{\Delta q_i}{c_i}) = 0 \quad (s = 1, 2, 3 \dots k). \quad (17)$$

Для узлов остаются справедливыми уравнения (10). Очевидно, что коэффициенты

$$\frac{\partial u}{\partial i} \text{ и } \frac{\partial u}{\partial i'} \quad (18)$$

в выражениях (16), имеющие размерности: первый — сопротивления, а второй — индуктивности, являются переменными периодическими коэффициентами, пока горит дуга переменного тока. После угасания дуги, в период деионизации дугового промежутка, эти коэффициенты, оставаясь переменными, перестают быть периодическими. Таким образом, уравнения первого приближения (17) для цепей, содержащих дугу переменного тока, суть линейные уравнения с периодическими коэффициентами для периода ее горения, которые переходят в линейные уравнения с переменными непериодическими коэффициентами в период ее угасания.

Условия нарушения устойчивости состояния дугового разряда. Перейдем теперь к определению условий перехода дугового разряда из состояния *A* обычного дугового разряда в особое состояние *B*, которое назовем для краткости состоянием „квазидугового разряда“. Переход дуги из обычного состояния в квазидуговое состояние совершается каждые полпериода при приближении тока в дуге к нулю. Напряжение на дуге проходит при этом через максимум, называемый напряжением угасания или напряжением потухания.

Рассмотрим ту же электрическую сеть, которая была исследована выше, но содержащую, вместо электрической дуги, некоторое сопротивление Z постоянной величины. Пусть Z состоит из активного сопротивления R и индуктивности L , которые могут иметь любые значения как положительные, так и отрицательные:

$$R \geq 0 \text{ и } L \geq 0. \quad (19)$$

Величины (19) должны заменить собой коэффициенты (18) в выражении (16). Уравнения первого приближения возмущенного движения (17) теперь превращаются в линейные уравнения с постоянными коэффициентами. Они могут быть переписаны в операторной форме:

$$\sum_{i=1}^n (l_i c_i p^2 + r_i c_i p + 1) \Delta i_i \quad (s = 1, 2, 3, \dots k). \quad (20)$$

Уравнения (20) решаются совместно с уравнениями (10) относительно возмущения Δi тока, протекающего в Z :

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_2 p^2 + a_1 p + a_0) \Delta i = 0. \quad (21)$$

Как известно, алгебраическое уравнение

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + a_{n-2} p^{n-2} + \dots + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0 \quad (2)$$

называется определяющим [Л. 1] или характеристическим, соответствующим дифференциальному уравнению (21).

Если все вещественные части корней уравнения (22) отрицательны, то электрические процессы во всех цепях рассматриваемой сети устойчивы. Если же среди корней уравнения (22) имеется хотя бы один корень, вещественная часть которого положительна, то электрическое состояние сети неустойчиво. Все коэффициенты, входящие в уравнение (22), содержащее существенно положительные величины, за исключением R и L , которые могут быть как положительными, так и отрицательными. Если R и L положительны и имеют достаточную величину, то вещественные части всех корней уравнения (21) отрицательны и движение устойчиво. Нарушение устойчивости движения, определяющееся наличием хотя бы одного корня с положительной вещественной частью, может наступить при отрицательных R и L соответствующей величины. Можно всегда найти такие R и L , что при

$$R > \rho \text{ и } L > \lambda \quad (23)$$

движение устойчиво, а при

$$R < \rho \text{ или } L < \lambda \quad (24)$$

движение неустойчиво. Случаи $R = \rho$ и $L = \lambda$ требуют специального исследования поведения динамической системы на границе устойчивости.

Вернемся теперь к уравнениям первого приближения возмущенного состояния сети с электрической дугой, питаемой переменным током. На рис. 1 представлены типичные характеристики $u = f_1(i)$ и $u = f_2(i')$ дуги переменного тока, свободно горящей в воздухе. Кривые сняты катодным осциллографом для дуги с угольными электродами, расположенными на расстоянии 1,5—2 мм. Эти две характеристики дают возможность построить характеристическую кривую функции

$$F(u, i, i') = 0 \quad (25)$$

в трехмерном фазовом пространстве $u-i-i'$. Коэффициенты (18) представляют тангенсы углов наклона касательных к кривой (25), проведенных параллельно двум координатным плоскостям $u-i$ и $u-i'$. Мы их будем в дальнейшем именовать, имея в виду их размерности, „динамическим сопротивлением“ и „динамической индуктивностью“ дуги. Исследование кривых (25) показывает, что, когда дуга находится в состоянии *A* обычного дугового разряда, динамическое сопротивление ее отрицательно,

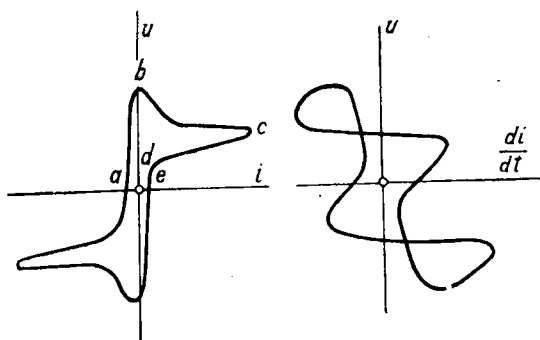


Рис. 1. Характеристики дуги переменного тока.

а динамическая индуктивность — положительна; когда дуга находится в состоянии квазидугового разряда B , — динамическое сопротивление и динамическая индуктивность положительны. Имея в виду сказанное выше, можно утверждать, что дуговой разряд устойчив при

$$\frac{\partial u}{\partial i} > r \quad (26)$$

и неустойчив при

$$\frac{\partial u}{\partial i} < r. \quad (27)$$

При изменении тока в дуге величина динамического сопротивления также изменяется. Когда вступает в силу неравенство (27), наступает срыв локальной устойчивости горения дуги и переход ее в другое состояние.

Критерии устойчивости дугового разряда. Критерии устойчивости дугового разряда получаются исследованием уравнения (22) при помощи коэффициентных критериев Н. Д. Моисеева [Л. 4] или их частных разновидностей в виде общеизвестных критериев Раунга или Гурвица.

Например, для простейшего контура, изображенного на рис. 2, характеристическое уравнение представится:

$$Z_{(p)} = \left(l + \frac{\partial u}{\partial i} \right) p + r + \frac{\partial u}{\partial i} = 0.$$

Его решение:

$$p = - \frac{r + \frac{\partial u}{\partial i}}{l + \frac{\partial u}{\partial i}}.$$

Дуга будет гореть устойчиво при

$$p < 0,$$

т. е. при

$$\left| \frac{\partial u}{\partial i} \right| < r. \quad (28)$$

Дуга не может гореть устойчиво при

$$\left| \frac{\partial u}{\partial i} \right| > r. \quad (29)$$

При этом предполагается, что знаменатель положительен, как это обычно бывает.

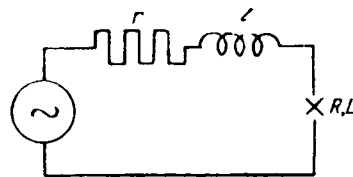


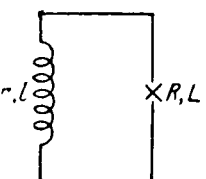
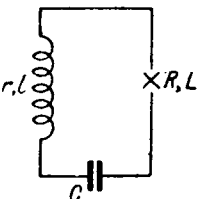
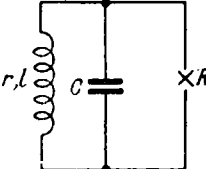
Рис. 2. Простейший контур с дугой.

Обратимся снова к характеристикам дуги, изображенным на рис. 1. При уменьшении тока и приближении его значения к нулю динамическое сопротивление дуги быстро уменьшается, а абсолютная величина его быстро растет. Состояние обычного дугового разряда останется устойчивым пока имеет место неравенство (28). Как только вступает в силу неравенство (29), устойчивость разряда нарушается, ток быстро падает, а напряжение на дуге быстро растет. Из кривых (рис. 1) видно, что напряжение на дуге проходит максимум и затем снова начинает уменьшаться. Динамическое сопротивление дуги при этом меняет знак, проходя через нуль. Неравенство (28) снова вступает в силу и дуга стабилизируется. В период неустойчивого состояния разряда скорости изменения тока и напряжения на дуге определяются не внешними условиями: электродвижущими силами, полными сопротивлениями и внутренними энергетическими соотношениями. Эти скорости могут быть найдены из решения характеристического уравнения контура. Скорости изменения тока и напряжения на дуге в переходных состояниях неустойчивого разряда значительно больше, чем при устойчивых состояниях дугового разряда.

Исследование разряда в квазидуговом состоянии и исследование обратного перехода его в обычное дуговое состояние не может быть проведено изложенным выше методом, так как в квазидуговом состоянии имеет место усиленная деионизация дугового промежутка, явно зависящая от времени. Дуговой разряд в квазидуговом состоянии не может рассматриваться как автономный, и исходное уравнение (14) для него неприменимо. Напряжение на дуге в квазидуговом состоянии явно зависит от времени, следовательно, мы имеем дело с неавтономным процессом. Исследование неавтономных движений выходит за рамки настоящей работы.

В заключение приведена таблица характеристических уравнений и коэффициентных критериев устойчивости дугового разряда (в его обычном состоянии A) для трех простейших контуров.

Чем выше степень характеристического уравнения контура, тем больше коэффициентных критериев устойчивости и тем они сложнее. Для сложных контуров коэффициентные критерии становятся столь громоздкими, что их анализ в общем виде теряет смысл и использовать их целесообразно при решении конкретных задач в численных выражениях постоянных контуров.

Схема	Характеристическое уравнение	Коэффициентный критерий устойчивости	Примечание
	$(L+l)p + R + r = 0$	$-R < r$	r, l и c — постоянные контура; R и L — динамические сопротивления и индуктивность дуги; p — оператор.
	$(L+l)cp^2 + (R+r)cp + 1 = 0$	$-R < r$	
	$Llcp^3 + (Lr + lR)cp^2 + (Rrc + L + l)p + R + r = 0$	1. $-R < r$, 2. $-R < \frac{L+l}{rc}$ 3. $-R < \frac{L}{l} r$, 4. $-R < \frac{L^2 + R^2 lc}{l^2} \cdot r$	

Вывод. Коэффициентные критерии, включающие сопротивления, индуктивности и емкости контуров и динамические сопротивление и индуктивность дуги дают возможность определить условия локальной устойчивости дугового разряда.

Литература

1. А. М. Ляпунов. Общая задача об устойчивости движения. Харьков, 1892 (ОНТИ, 1935).

2. Н. Г. Четаев. Устойчивость движения. Гостехиздат, 1946.

3. И. Г. Малкин. Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний. Госэнергоиздат, 1949 г.

4. Н. Д. Моисеев. Прямой коэффициентный критерий устойчивости для обыкновенной системы, эквивалентной одному линейному однородному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами. Записки семинара по теории устойчивости движения. ВВА им. Жуковского, вып. 3, 1948.

[18 · 6 · 1949]



Электромагнитная связь бесконтактной сети и приемного витка экипажа высокочастотного транспорта

Инж. А. С. ФИЛАРЕТОВА

Москва

Полный к. п. д. бесконтактного высокочастотного транспорта в значительной степени зависит от величины электромагнитной связи между тяговой сетью и приемным контуром экипажа. Число потокосцеплений поля тяговой сети и приемного контура связано с конструкцией тяговой сети, формой и площадью приемного контура и обусловлено также взаимным расположением сети приемного контура и кузова экипажа.

Взаимоиндуктивность приемного и передающего контура можно определить аналитическим путем лишь для простейших конфигураций, но это требует громоздких вычислений. Экспериментальный метод позволяет достаточно точно установить значения электромагнитной связи для самых сложных конфигураций контуров.

Для экспериментального исследования взаимной индуктивности M была построена модель однофазной тяговой сети в одну пятую натуральной величины. Сеть была

описаны результаты измерений на модели э. д. с. в приемном контуре высокочастотного экипажа, наводимой высокочастотным током, циркулирующим в проводниках бесконтактной тяговой сети. Даны графики изменения наведенной э. д. с. в зависимости от взаимного расположения приемного контура бесконтактной сети и кузова, моделированного посредством экранов.

выполнена из медной трубки диаметром 8 мм в виде двух последовательно соединенных петель (рис. 1). Приемный контур имел форму эллипса и состоял из 12 плотно прилегающих друг к другу витков. При включении лампового генератора сеть получала высокочастотный ток. В прием-

ном контуре наводилась э. д. с., величина которой пропорциональна взаимной индуктивности между приемным витком и тяговой сетью при $I\omega = \text{const}$. Следовательно, измеряя наводимую в приемном контуре э. д. с., мы тем самым определяем взаимную индуктивность приемного и передающего контуров.

Измерение э. д. с. производилось по однополупериодной схеме выпрямления при помощи магнитоэлектрического вольтметра. На показание вольтметра оказывало большое влияние собственная емкость соединительных проводов и дополнительные емкости, создаваемые посторонними предметами. Показания вольтметра изменялись

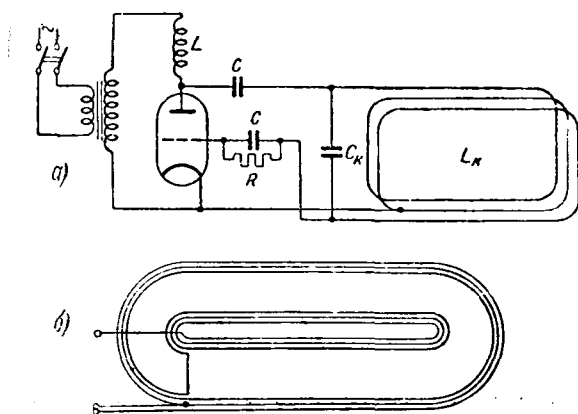


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования электромагнитной связи.

а—схема возбуждения высокочастотных токов в первичном контуре (бесконтактной сети); б—схема расположения витков в бесконтактной сети.

не только при перемещении соединительных проводов, но и при приближении человека к тяговой сети. Для устранения этого явления были применены соединительные провода с заземленной панцирной оплеткой; приемный виток был обвит проводом, один конец которого также заземлялся. Таким образом, все дополнительные емкости имели на одной своей обкладке нулевой потенциал земли, что устранило появление при данных измерениях емкостной составляющей тока.

Распределение напряженности магнитного поля для некоторых конструкций тяговой сети в зависимости от отношения ширины приемного витка к полюсному делению сети было уже освещено [Л. 1], поэтому на модели исследовалось взаимное расположение сети, приемного контура и кузова экипажа.

Для конструкции сети и приемного контура модели из рис. 2 показано изменение э. д. с. приемного витка при перемещении его поперек трассы. Все кривые имеют четыре или пять экстремальных точек в зависимости от высоты витка над сетью δ . С удалением приемного контура интенсивность поля падает, одновременно падает и величина наведенной э. д. с. Тяговая сеть — однофазная и, естественно, должны были получиться мертвые зоны ($E_b = 0$), однако при эксперименте полного нуля получить не удалось. Это можно объяснить несовершенством экранировки и, возможно, некоторым сдвигом фаз токов в отдельных проводниках сети. Из кривых графика видно, что при данной конструкции тяговой сети и витка проезжей частью являются два участка с максимальной величиной э. д. с., что удобно для даупутного движения транспорта. Отъезд от крайних проводов трассы возможен, так как мертвая зона у крайних проводов невелика.

Реальная машина имеет много металлических частей, влияющих на величину наводимой э. д. с. Кузовы машины были нами моделированы в виде круглых медных дисков с закраинами высотой в 100 мм (рис. 3, верхний правый угол). Такая модель кузова, помещенная внутрь витка, является экраном, уменьшающим индуктивность приемного контура, увеличивая общие потери и уменьшая электромагнитную связь.

На рис. 3 представлены кривые э. д. с., снятые в зависимости от расстояния тяговая сеть — приемный контур для различных диаметров экранов, когда экран и виток расположены в одной плоскости. Кривые показывают, что при внесении в контур различных экранов изменение э. д. с. зависит от отношения площади экрана к площади приемного контура и мало зависит от расстояния приемный контур — тяговая сеть.

На рис. 4 построены кривые при постоянном удалении плоскости витка от плоскости тяговой сети ($\frac{Y_a}{b} = 0,1$ в функции высоты экранов ($\frac{Y_a}{b}$). При площади экранов, меньшей площади приемного контура ($D/b < 1$), существенное влияние на величину э. д. с. оказывают

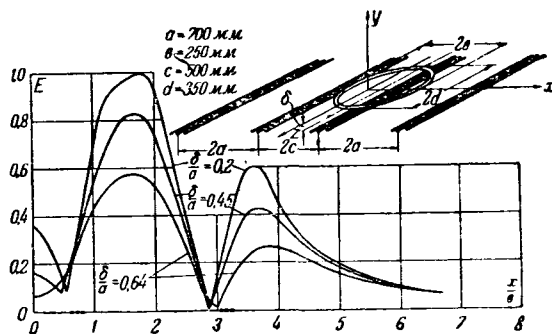


Рис. 2. Схема расположения бесконтактной сети (передающего контура) и приемного контура и кривые э. д. с., наводимой в приемном контуре.

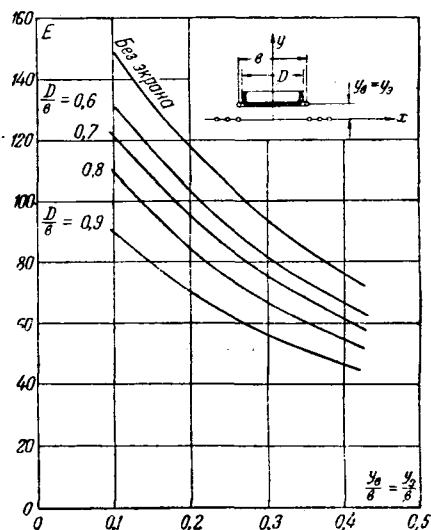


Рис. 3. Электродвижущая сила, наводимая в витке с экраном при разных диаметрах экрана.

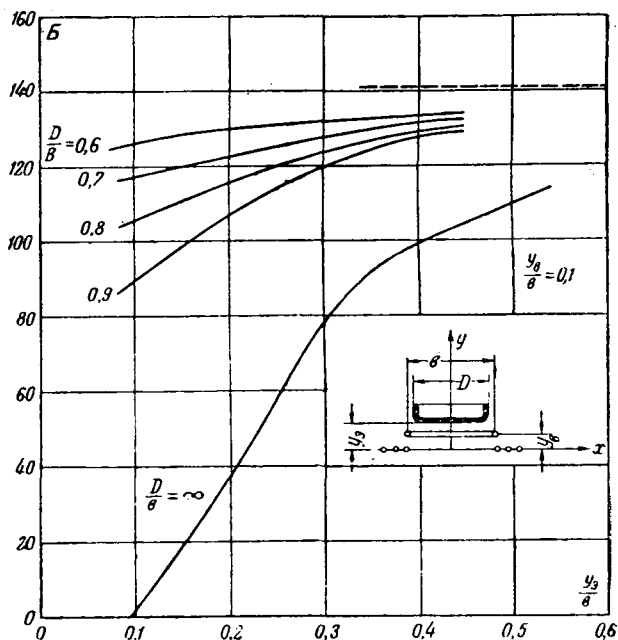


Рис. 4. Электродвижущая сила в витке с экраном в зависимости от удаления экрана от витка.

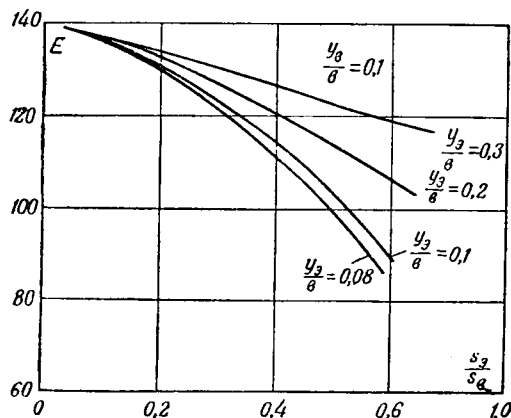


Рис. 5. Падение э. д. с., наводимой в витке, в зависимости от соотношения площади экрана к площади витка.

экраны в пределах расстояния $\frac{Y_s}{b} = 0,2$ от приемного витка, когда удаление больше, влиянием экранов можно пренебречь. Нижняя кривая снята для случая сплошного экрана ($\frac{D}{b} = \infty$), когда $S_s \gg 1$. Когда такой экран лежит непосредственно на витке ($\frac{Y_s}{b} = \frac{Y_b}{b}$), то магнитные силовые линии не могут проникнуть внутрь витка, а лишь омывают его с внешней стороны, не наводя в нем э. д. с. При удалении экрана кривая э. д. с. круто поднимается вверх и после перегиба более медленно приближается к своему предельному значению.

Сравнение рис. 3 и 4 показывает, что кривые до значений $\frac{Y_s}{b} = 0,1$ при продолжении своем пересекаются с осью абсцисс. Все остальные кривые асимптотически приближаются к предельным значениям $\frac{Y_s}{b} = \infty$. При значениях $\frac{Y_s}{b} < 0,1$ экран поглощает все магнитное поле и лишает токоприемник питания.

На рис. 5 построены зависимости э. д. с. от отношения площади экрана к площади витка при различных значениях $\frac{Y_s}{b}$. Крутизна кривых зависит от высоты расположения экранов. Чем больше $\frac{Y_s}{b}$, тем менее полого идет кривая.

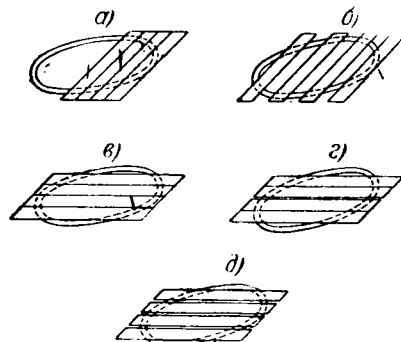


Рис. 6. Исследование влияния составных экранов на э. д. с. приемного витка.

Электродвижущая сила в приемном контуре при наличии экрана площадью не более четырех десятых от площади витка, как видно из кривых, практически будет очень мало изменяться. Но изменение электромагнитной связи зависит не только от величины отношения площади находящегося в поле экрана к площади токоприемника, но и от того, является ли экран сплошным или составным. Для изучения этой зависимости были произведены исследования с экраном, состоящим из четырех медных полосок (рис. 6).

Если принять э. д. с. для случая сплошного экрана из полосок за 100% (в, рис. 6), то при делении его на четыре экрана с воздушным промежутком в 2 мм и с прежней площадью э. д. с. увеличивается до 149%. В случае б, г по сравнению с а э. д. с. увеличивается до 122%. На верхнем рис. 6, а показан экран, занимающий половину всей площади витка. При делении этого экрана на отдельные полосы, э. д. с. увеличивается до 117%. Таким образом, чем меньше площадь отдельных экранов, тем более вяло падает электромагнитная связь.

Несущую конструкцию и кузов экипажа нужно проектировать, таким образом, чтобы они не создавали замкнутых контуров, равносильных в электромагнитном поле сплошному экрану, и, по возможности не содержали сплошных металлических частей значительной площади и чтобы расстояние между витком и нижней точкой рамы экипажа было как можно больше. Учитывая при проектировании эти данные, можно уменьшить потери энергии в металлических частях экипажа до такой величины, что они будут практически мало влиять на суммарный к. п. д. высокочастотного транспорта.

Литература

1. Г. И. Бабат. О простейших силовых полях бесконтактных сетей высокочастотного транспорта. Известия АН Академии наук СССР, № 11, 1946.

[16. 9. 1948]



Знаменитый русский электротехник конца XIX и начала XX века Михаил Осипович Доливо-Добровольский, создатель техники трехфазного тока и автор многих блестящих изобретений, первый в мире предложил принцип гашения дуги в искрогасительной решетке. Это изобретение Доливо-Добровольского было скопировано германской фирмой AEG. Идея Доливо-Добровольского, претворенная им в жизнь, несправедливо приписывалась американцу Слепяну, который на 16 лет позже Доливо-Добровольского сконструировал подобное устройство в так называемом деионном выключателе. В статье О. Б. Брона представлены исчерпывающие документальные данные, подтверждающие приоритет М. О. Доливо-Добровольского.

М. О. Доливо-Добровольский — изобретатель искрогасительной решетки

Доктор техн. наук, проф. О. Б. БРОН

Ленинград

Историческая справка. М. О. Доливо-Добровольский, один из основоположников русской электротехники XIX века, широко известен, как создатель систем трехфазного тока. Им построен в 1888 г. первый асинхронный двигатель, первый трехфазный трансформатор (1890 г.). Это позволило осуществить в 1891 г. первую электропередачу трехфазного тока из Лауфена во Франкфурт на Майне. Известен изобретенный Доливо-Добровольским «делитель напряжения» для трехпроводных систем постоянного тока. Известно, что Доливо-Добровольскому принадлежит много работ и изобретений, относящихся к разным областям электротехники: им построены электроизмерительный прибор с мягким железом, фазометр, прибор для определения потерь в железе и ряд других.

Однако, далеко не всем известно, что Доливо-Добровольский является автором широко применяющегося в настоящее время метода гашения электрической дуги в выключающих аппаратах. Этот метод Доливо-Добровольский назвал искрогасительной решеткой. Изобретение искрогасительной решетки, которую позднее стали называть деионной, часто незаслуженно приписывают американцу Слепяну, причем делают это не только сами американцы, но из-за отсутствия необходимой информации и наши ученые. Так, в классическом труде покойного проф. А. А. Смурова «Электротехника высокого напряжения», т. III, стр. 281—282 описан деионный выключатель и его изобретение приписано Слепяну. Эту же ошибку допускают и многие другие авторы, книги которых являются руководством для нашей высшей школы. Отсутствием информации следует объяснить то, что в недавно вышедших книгах проф. М. А. Шателена «Русские электротехники», в двухтомнике «Люди русской науки», в книге проф. В. В. Данилевского «Русская техника» и ряде других изданий, в которых даются очерки работ М. О. Доливо-Добровольского, нет указаний на то, что ему принадлежит заслуга изобретения искрогасительной решетки. Произошло это потому, что сам Доливо-Добровольский не опубликовал в печати работ, посвященных этому вопросу. Сохранились только его патенты, заявленные в Германии.

Как известно, М. О. Доливо-Добровольский долгое время работал в германской фирме AEG. В лабораториях этой фирмы в 1912—1914 гг. им была осуществлена разработка искрогасительной решетки. Несмотря на благоприятные результаты испытаний опытных образцов, фирма AEG ничего о работах Доливо-Добровольского не опубликовала. Сам же он, как русский подданный, в 1914 г. должен был оставить Германию и переселиться в Швейцарию. Умер М. О. Доливо-Добровольский в 1919 г.

В 1928 и 1929 гг. американская фирма Вестингауз выступила со своими деионными выключателями. Лишь тогда фирма AEG вспомнила о работах Доливо-Добровольского и в 1930 г. в сборнике „Forschung und Technik“, изданном в Берлине под редакцией проф. Петерсена, была помещена статья Кона и Ульриха „Vielfachfunkenkammer für Luftschalter nach Dolivo-Dobrowolski“. В этой статье изложено содержание патентов Доливо-Добровольского и приведены фотографии аппаратов, построенных Доливо-Добровольским в 1912 и 1914 гг.

Патенты Доливо-Добровольского. В 1912 г. Доливо-Добровольский сделал заявку и получил патенты «на устройство, ограничивающее размеры дуги, возникающей при отключении электрических цепей» (DRP 266745 и 272742).

Это устройство было предложено в ряде различных конструктивных исполнений. На рис. 1, заимствованном из соответствующих патентов Доливо-Добровольского,

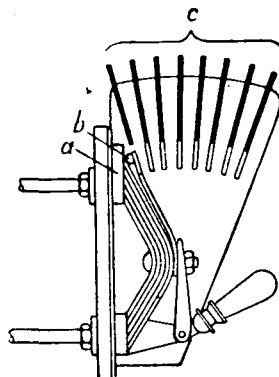


Рис. 1. Камера Доливо-Добровольского с искрогасительной решеткой по DRP 266745.

a — неподвижный контакт; *b* — подвижный контакт; *c* — закрепленные поперечные перегородки из проводящего материала.

приведена одна из конструкций. При размыкании контактов *a* и *b* возникает электрическая дуга, которая проникает в область, занятую поперечными металлическими пластинами *c*. Здесь она разбивается на ряд коротких

последовательно включенных дуг. Согласно первому патенту Доливо-Добровольского, число пластин должно быть выбрано таким, чтобы напряжение, приходящееся на одну пару пластин, было меньше минимально необходимого для поддержания электрической дуги. Для того чтобы облегчить процесс проникновения дуги в область, занятую поперечными пластинами, нижним краем этих пластин придана форма, изображенная на рис. 2.

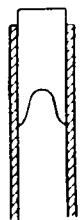


Рис. 2. Разрез камеры ДД с искрогасительной решеткой по ДРП 266740. Поперечные перегородки в нижней части имеют вырез.

Особое внимание обращено в патентах Доливо-Добровольского на теплоемкость и теплопроводность пластин. Для увеличения теплоемкости и теплопроводности рекомендуется брать большее количество пластин, чем это следует на основании расчетов минимального напряжения.

Доливо-Добровольский провел ряд лабораторных опытов. Был построен выключатель, встроенный в ящик и предназначенный для номинальных напряжений до 550 в. Искрогасительная камера этого выключателя была подобна изображенной на рис. 1. Испытания производились при напряжениях до 750 в переменного тока 50 гц.

В 1914 г. Доливо-Добровольский построил новый выключатель с гашением дуги по другой схеме. Этот выключатель изображен на рис. 3. На шиферной плите было укреплено два латунных угольника *a* и *b*. Между ними на изолированном стержне с головкой *k* закреплено 30 медных изолированных друг от друга пластин *c*. Толщина пластин 2 мм. Расстояние в свету между ними 1 мм. Вся система пластин имеет круглое отверстие *e*. В это отверстие вставлены неподвижный цилиндрический контакт *d* и подвижный контакт, производящий отключение. На фотографии рис. 3 этот контакт отсутствует, он вынут. Вся система медных пластин заключена между двумя параллельными щеками из цемент-асбеста. Магнитное поле, загоняющее дугу в область, занятую пластинами, создавалось двумя катушками *g*, одетыми на сердечник *i*.

Искрогасительная решетка Доливо-Добровольского не получила в свое время (1912—1914 гг.) широкого распространения, несмотря на благоприятные результаты испытания, повидимому, по фирменным соображениям.

Прошло полтора десятилетия. Мощности электрических установок сильно возросли. Это выдвинуло новые

требования к выключающим аппаратам. В связи с этим идея дробления дуги на части, как метод ее гашения, приобрела особое значение.

Деионная решетка. В 1928 г. Слепян, работавший у американской фирмы Вестингауз, построил высоковольтный воздушный выключатель, названный им деионным и представляющий, по существу, повторение идей Доливо-Добровольского. В этом выключателе дуга, возникающая на контактах, загоняется в область, занятую медными пластинами, там разбивается на большее число коротких последовательно включенных дуг и гаснет.

В 1929 г. инженеры фирмы Вестингауз Беккер и Елиис применили тот же принцип для гашения дуги в контакторах. Построенная ими система практически почти не отличается от первой модели Доливо-Добровольского.

Доливо-Добровольский требовал, чтобы напряжение, приходящееся на одну пару пластин, было меньше минимально необходимого для поддержания дуги. Для переменного тока таким напряжением он считал 300 в. Слепян нашел, что после погасания дуги наступает деионизация дугового промежутка. Электрическая прочность этого промежутка немедленно после прохождения тока через нуль достигает 176 в эффективного значения. Повторное зажигание дуги может наступить только в том случае, если напряжение на дуговом промежутке немедленно после прохождения тока через нуль превысит приведенную величину, но в таком случае это и есть то напряжение, которое Доливо-Добровольский считал минимально необходимым для поддержания дуги. Различие в величине этого напряжения не имеет принципиального значения. Таким образом, деионные выключатели Слепяна идентичны выключателям с искрогашением, предложенным Доливо-Добровольским на 16 лет раньше Слепяна.

Испытания моделей Доливо-Добровольского. В 1930 г. сотрудники фирмы AEG Кои и Ульрих подвергли повторным испытаниям имевшиеся у этой фирмы аппараты с искрогасительной решеткой, построенные Доливо-Добровольским. Приводим в кратком изложении результаты этих испытаний.

Испытанию при постоянном и переменном токе подвергался выключатель, изображенный на рис. 3; напряжение было 550 в. При постоянном токе до 800 а отключение происходило так, что дуга не выходила за пределы решетки. Гашение дуги продолжалось около 5 мсек. При токе 1300 а дуга вышла за пределы камеры (рис. 4), а процесс гашения дуги длился 23 мсек. Около этой величины, повидимому, лежит предельный для выключателя постоянный ток.

При отключении переменного тока существенную роль играет момент размыкания контактов. Поэтому приходится считаться с определенной неидентичностью процессов отключения. Отключение безиндуктивной на-

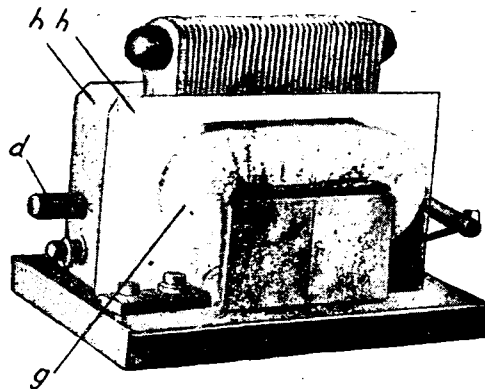
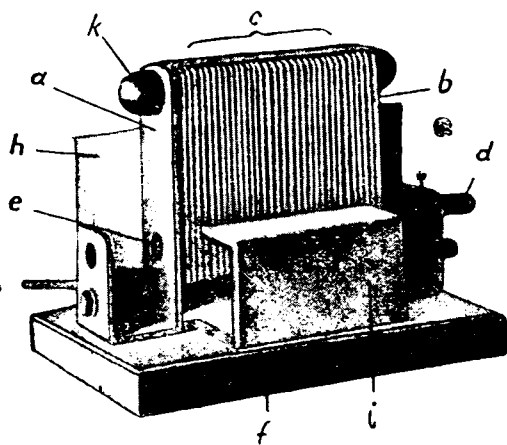


Рис. 3. Модель камеры с искрогасительной решеткой Доливо-Добровольского 1914 г. Вид с двух противоположных сторон.

a и *b*—держателе угольники из латуны; *c*—медные пластины толщиной 2 мм с расстоянием в свету 1 мм; *d*—неподвижный цилиндрический контакт; *e*—круглое отверстие для подвижного контакта; *f*—шиферная плита (основание); *g*—катушка магнитного дутья; *h*—стенки из цемент-асбеста; *i*—железный сердечник катушки магнитного дутья; *k*—головка стяжного изолированного стержня.

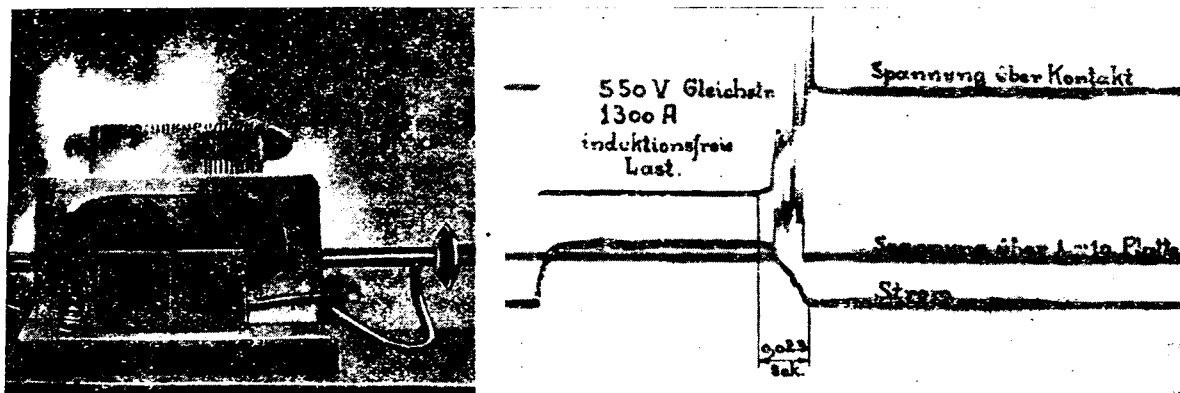


Рис. 4. Однополюсное отключение постоянного тока 1300 а, 550 в выключателем Доливо-Добровольского. Модель 1914 г.

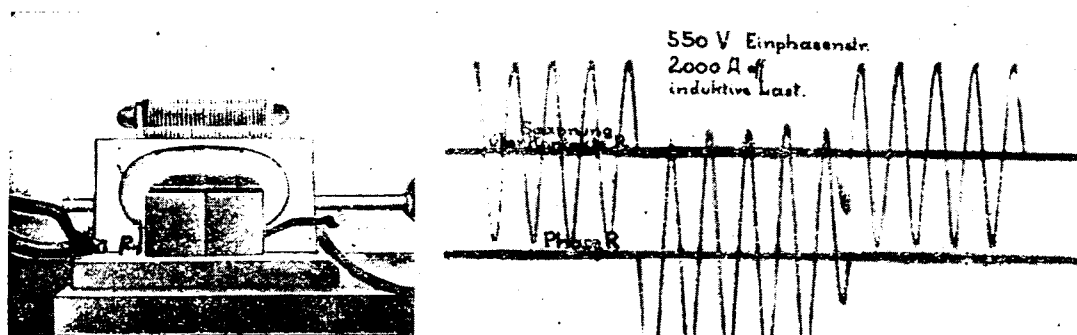


Рис. 5. Отключение переменного тока 2000 а, 550 в, 50 гц. Индуктивная нагрузка.

грузки переменного тока до 1300 а происходило без каких-либо световых явлений. Дуга не выходила за пределы камеры. Дуга гасла при первом же прохождении тока через нуль. При отключении тока 1800 а дуга выходит за пределы решетки, однако гашение происходит вполне надежно и дуга гаснет при первом же прохождении тока через нуль. При отключении индуктивной нагрузки с $\cos \varphi = 0,1$ и током 1500 а дуга очень мало выходила за пределы камеры и гашение продолжалось менее одного полупериода. При повышении отключаемого тока до 2000 а процесс гашения дуги попрежнему происходил надежно, за время меньше полупериода, однако, дуга выходила за пределы камеры (рис. 5).

После удаления одной из катушек, создававшей магнитное дутье, аналогичные явления имели место при вдвое меньших токах. Удаление обеих катушек привело к снижению предельного тока до 100 а. После многих сотен отключений обгорание пластин оказалось незначительным и никак не могло влиять на работу аппарата.

Кон и Ульрих, производившие испытания, отмечают как замечательное явление то, что дуга на выключателе Доливо-Добровольского при индуктивной нагрузке была не больше, чем при омиче-

ческой. В противоположность этому известно, что в обыкновенных воздушных выключателях процесс отключения индуктивных цепей протекает гораздо труднее, чем омических. Появляется значительно большая дуга и сильно снижает предельный отключаемый ток.

Промышленное применение аппаратов с искрогасительной решеткой. Наша электропромышленность широко использует предложенный Доливо-Добровольским принцип гашения дуги в искрогасительной решетке. Много лет наши заводы выпускают серии универсальных воздушных автоматов с искрогасительной решеткой. В 1939 г. была введена в производство серия контакторов переменного тока с искрогасительной решеткой. Разработана серия установочных автоматов с гашением дуги по тому же принципу. Отечественными научно-исследовательскими институтами был разработан разъединитель с искрогасительной решеткой. Искрогасительную решетку стали применять в рубильниках и т. д.

Так практически претворяются в жизнь труды нашего великого соотечественника. Постараемся преумножить и развить научное и техническое наследство, оставленное русским ученым и инженером Михаилом Осиповичем Доливо-Добровольским.



Стандарты на трансформаторы в зарубежных странах и ГОСТ

В журнале *Electrical Engineering*, № 7, 1948 г. [Л. 1] опубликована статья, в которой сопоставляются нормы на трансформаторы ряда стран в части определения номинальной мощности, допускаемых превышений температуры, испытательных напряжений, допусков на характеристики, а также рекомендации о перегрузках.

Указывается, что расхождения между требованиями отдельных национальных стандартов должны быть, по возможности, уменьшены, и желательно разработать международный стандарт.

Действительная же задача авторов — выяснение различия между нормами национальных стандартов марshallизированных стран (только они и рассматриваются) со стандартом ASA (Американской ассоциации стандартов). Авторы имеют в виду распространение норм американского стандарта на соответствующие страны с тем, чтобы облегчить регулирование их экономического развития в интересах США.

Знакомясь с иностранными стандартами, нам, естественно, следует сравнить их с действующими у нас ГОСТ. Уровень стандартизации в СССР, в том числе в отношении силовых трансформаторов, отражает преимущества планового социалистического хозяйства и, естественно, выше уровня, достигнутого в стандарте ASA. Действующий ГОСТ 401-41 [Л. 3] стандартизует номинальные мощности и устанавливает определенные сочетания напряжений, схемы и группы соединения обмоток для всего диапазона мощностей. В стандарте ASA это сделано только для трансформаторов небольшой мощности.

ГОСТ 401-41 нормирует величину потерь и тока холостого хода, потерь и напряжения короткого замыкания. Этого нет в стандарте ASA.

Большим достижением нужно признать стандартизацию в ГОСТ 401-41 трехобмоточных трансформаторов.

Существенным шагом вперед является учет в ГОСТ 401-41 реальных эксплуатационных условий в части принятия за номинальные условия охлаждающей среды естественно изменяющейся температуры окружающего воздуха в местностях, где ее максимальное значение равно $+35^\circ$. Стандарт же ASA (C57.11.005) предусматривает среднесуточную температуру окружающего воздуха «не выше $+30^\circ$ ». Поскольку не сделано никаких оговорок, трансформатор должен рассчитываться на неограниченно длительную работу при этой среднесуточной температуре, хотя в действительности для большинства установок она имеет место весьма ограниченное время.

ASA для некоторых важных испытаний не фиксирует определенной методики, внося неопределенность в результаты. Это относится, например, к определению перегрева частей трансформатора. Согласно C57.22.101 потери в обмотках при испытании могут быть различными в зависимости от температуры воздуха помещения, где производится тепловое испытание. При этом никакие коррективы к получаемому таким образом перегреву не вносятся. В ГОСТ 401-41 такая неопределенность исключена. Результат импульсного испытания трансформатора может зависеть от того, каким способом из допускаемых стандартом ASA (C57.11.035) осуществлен срез волны импульса и т. д.

Можно также указать на то, что стандарт ASA до сих пор не пользуется наглядным методом часового обозначения групп соединений обмоток, впервые примененным в Чехословакии и получившим общее признание.

Сравнение стандартов разных стран на трансформаторы авторы [Л. 1] начинают с рассмотрения определения номинальной мощности.

По ASA [Л. 2] трансформатор должен отдавать номинальную мощность при номинальном вторичном напряжении, которое поддерживается при нагрузке соответственным увеличением первичного напряжения.

По нормам МЭК (Международная электротехническая комиссия) [Л. 4] и британского стандарта [Л. 5] номинальная мощность определяется номинальным напряжением холостого хода вторичной обмотки и ее номинальным током. Действительная отдача (Service rating — по МЭК), таким образом, меньше номинальной мощности.

Австралийский стандарт [Л. 6] определяет номинальную мощность, как действительно отдаваемую при номинальном токе и коэффициенте мощности единицу, т. е. учитывает активное падение напряжения.

Приведенное выше определение номинальной мощности по ASA почти полностью совпадает с определением в ГОСТ 401-41.

Далее авторы рассматривают допускаемые предельные перегревы.

Ниже, в табл. 1, приведена часть данных, помещенных в статье, касающаяся сухих и масляных трансформаторов с естественным охлаждением. Для стандарта ASA авторы поместили в таблице цифру 55° , относящуюся согласно C57.11.021 к непрерывной (continuous) нагрузке. Наряду с этим стандарт ASA оговаривает предельный перегрев 60° при режиме номинальной нагрузки. Последний определяется как режим длительной нагрузки с последующей двухчасовой 25 или 50%-ной перегрузкой; при этом длительная нагрузка составляет 90% или соответственно 80% нагрузки, допустимой при режиме непрерывной нагрузки (C57.10.015 и C57.32.019).

Таблица 1

Предельные допускаемые перегревы меди обмоток трансформаторов с естественным охлаждением (с изолирующим материалом класса А, по измерению сопротивления, в градусах Цельсия)

Тип трансформатора	Согласно стандарту						
	американскому (ASA)	британскому	австралийскому	МЭК	МЭК (примечание 1)	швейцарскому [Л. 7]	швейцарскому (примечание 2) французскому восточному [Л. 8]
Сухой	55	55	55	55	—	55	65 60
Масляный	55	60	55	60	55	60	70 70

Примечания: 1. Указан допускаемый перегрев при непрерывной работе в течение неопределенно длительного периода.
2. Авторы полагают, что в настоящее время допускается 60° .

Нельзя признать логичным, что стандарт ASA и австралийский устанавливают одни и те же нормы предельного превышения температуры для изолирующего материала класса А сухих и масляных трансформаторов. Сухие трансформаторы устанавливаются внутри помещений, как правило, с мало колеблющейся температурой воздуха ($25 \div 30^\circ$), тогда как масляные устанавливаются по большей части вне помещения в местах со среднесуточной температурой, изменяющейся на протяжении года в пределах от -10° до $+30^\circ$. ГОСТ 401-41, принимая во

внимание, что среднегодовая температура воздуха в подавляющем числе районов СССР не превышает $+10^\circ$, допускает для масляных трансформаторов при режиме непрерывной номинальной нагрузки превышение температуры обмоток 70° .

В табл. 2 дана сводка температур охлаждающего воздуха, принимаемая во внимание различными стандартами.

Таблица 2

Температура охлаждающего трансформатор воздуха в $^\circ\text{C}$, учитываемая различными стандартами

Суточная температура	По стандарту		
	американскому (ASA)	британскому и МЭК	шведскому, швейцарскому и французскому
Максимальная . .	+40	+40	+40
Средняя	+30	+35	—

Авторы рекомендуют для пересчета номинальной мощности трансформатора кривую, в которой принимают, что в пределах $55-70^\circ$ каждому 1° в изменении допускаемого перегрева (среднему по сопротивлению) соответствует приблизительно 1,4% от номинальной мощности. Это значит, что при сравнении двух трансформаторов, рассчитанных один на перегрев в 55° , второй на 70° , номинальная мощность первого должна быть приведена к перегреву в 70° и увеличена на $(70-55) \cdot 1,4 = 21\%$ (по кривой на 20%) против указанной на его шитке. Равным образом номинальная мощность второго трансформатора должна быть приведена к 55° и соответственно уменьшена на $\frac{21}{121} \cdot 100 = 17,5\%$ (по кривой $\frac{21}{120} \times 100 = 16,5\%$).

Помещенное в статье сравнение требований стандартов в отношении испытательных напряжений переменного тока приведено (с исправлением неточностей) в табл. 3.

В табл. 3 через U обозначено линейное рабочее напряжение. Указанное испытательное индуктированное напряжение в трехфазном трансформаторе имеет место между линейными зажимами. «Нейтраль не заземлена» по принятой терминологии означает систему «с малым током замыкания на землю» (практически—заземление нейтрали системы через дугогасящую катушку), «нейтраль заземлена» означает систему «с большим током замыкания на землю».

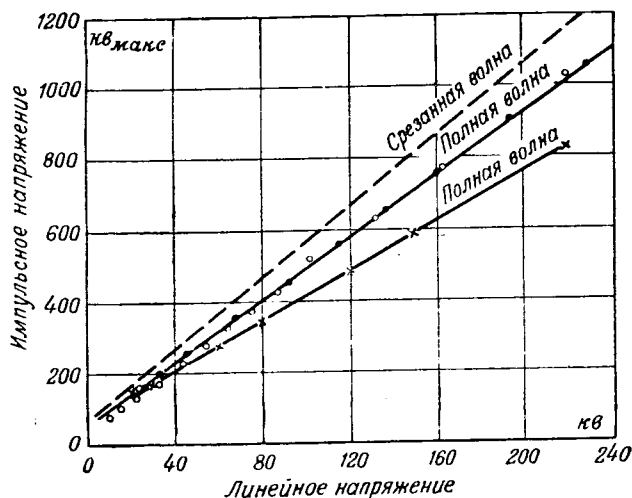
Если испытания изоляции обмотки относительно корпуса производится при наглухо заземленной нейтрали напряжением, индуктированным в испытуемом трехфазном трансформаторе, то напряжение между его линейными вводами (согласно МЭК, британскому и швейцарскому стандартам) в $\sqrt{3}$ раз больше установленного испытательного напряжения изоляции относительно корпуса: $\sqrt{3}(2U+1\text{ кВ}) = 3,46U+1,73\text{ кВ}$ или $\sqrt{3}(1,6U+1\text{ кВ}) = 2,77U+1,73\text{ кВ}$. При этом указывают авторы, требуются неоправданно большие изоляционные расстояния между линейными зажимами. Стандарт ASA обходит это затруднение, допуская испытание трехфазного трансформатора с глухо заземленной нейтралью по специальной однофазной схеме; при этом напряжение между линейными зажимами равно $2U$, а напряжение относительно земли $\frac{4}{3}U$ (в испытуемых, соединенных в звезду обмотках возбуждаются однофазные напряжения: на одном стержне $+\frac{4}{3}U$, на двух других по $-\frac{2}{3}U$).

Авторы отмечают существенное различие между требованиями ASA и требованиями других стандартов в отношении испытания изоляции при глухо заземленной нейтрали и указывают, что в США получает все большее распространение практика применять при этом режиме

Испытательные напряжения переменного тока

Таблица 3

Вид испытания и режим нейтрали трансформатора		Согласно стандарту			
		американскому (ASA)	британскому	МЭК	швейцарскому
Испытание изоляции относительно корпуса	Нейтраль не заземлена (испытание напряжением, приложенным от постороннего источника)	$2U$ (при $U \geq 25\text{ кВ}$ —с округлением до 5 кВ; для $U=5\text{ кВ}$ — $U_{исп} = 19\text{ кВ}$; $U=9-7\text{ кВ}$ — $U_{исп} = 26\text{ кВ}$; $U=15\text{ кВ}$ — $U_{исп} = 31\text{ кВ}$)	$2U+1\text{ кВ}$	$2U+1\text{ кВ}$	
	Нейтраль заземлена (испытание напряжением, приложенным от постороннего источника или индуктированным в испытуемом трансформаторе)	$2U$ или меньше в зависимости от класса изоляции нейтрали	$1,6U+1\text{ кВ}$	$U \leq 80\text{ кВ}$ — $U_{исп} = 2U+1\text{ кВ}$; $U > 80\text{ кВ}$ — $U_{исп} = 1,6U+1\text{ кВ}$ (при минимуме 161 кВ)	
Индуктированное испытательное напряжение	Нейтраль не заземлена	$2U$	$2U$	$2U$	$2U$
	Нейтраль заземлена	$2U$ или меньше, если испытание индуктированным напряжением заменяет испытание приложенным напряжением и применен пониженный класс изоляции	$2,8U+1\text{ кВ}$; для грозных районов— $3,46U+1\text{ кВ}$	$2U$, если испытание изоляции относительно корпуса производится приложенным напряжением $U \leq 80\text{ кВ}$ $U_{исп} = 3,46U+1,73\text{ кВ}$; $U > 80\text{ кВ}$ $U_{исп} = 2,77U+1,73\text{ кВ}$ (при минимуме 279 кВ)	если одновременно испытывается изоляция относительно корпуса



Сравнение импульсных испытательных напряжений.

— ASA; ● ASA; ○ Швеция, 31 сентября 1944. Указаны напряжения генераторного конца линии. Напряжение приемного конца на 10% ниже [Л, 9]. × — Швейцарский и итальянский проекты.

нейтрали класс изоляции линейного зажима на одну ступень ниже, чем соответствующий номинальному напряжению.

На рисунке даны импульсные испытательные напряжения. Во всех случаях предусматривается незаземленная нейтраль системы. Для заземленной нейтрали в США обычно применяют импульсные испытательные напряжения на один класс ниже. Авторы указывают, что в США фактически испытывается импульсами только небольшой процент (5–10%) выпускаемых трансформаторов. К этому следует добавить, что техническая документация, которую дают американские фирмы о произведенном импульсном испытании трансформатора, не содержит надежных показателей того, что трансформатор испытания выдержал.

Из сравнения допусков, установленных различными стандартами на характеристики трансформаторов, согласовываемые при заказе, приводим следующие.

Допуск на коэффициент трансформации равен 0,5% (ASA) или меньшей из двух величин: 0,5% или 0,1 от выраженного в процентах напряжения короткого замыкания (остальные стандарты). Допуск на потери холостого хода и короткого замыкания и на напряжение короткого замыкания в большинстве стандартов равен 10%. МЭК устанавливает на потери холостого хода и короткого замыкания допуск в 14,3%¹ при допуске на общие потери 10%. Особенность допусков по ASA на потери холостого хода и общие потери видна из табл. 4. Допуск на потери короткого замыкания не нормирован.

Таблица 4

Допуски на потери

Одноточный или трехфазный трансформатор и число единиц в одном заказе	Одна единица		Две или больше единиц, однофазных или трехфазных	
	однофазная, %	трехфазная, %	среднее значение для всех единиц, %	для каждой отдельной единицы, %
Потери холостого хода	10	0	0	10
Полные потери .	6	0	0	6

Допуск на ток холостого хода равен 30% (МЭК, австралийский и швейцарский стандарт) или не установлен (ASA, британский стандарт).

¹ В статье ошибочно указано иначе.

Рекомендации о допустимых перегрузках содержатся в стандарте ASA (наиболее подробные), в британском и австралийском стандартах.

Как указано в статье, британский стандарт содержит рекомендации о допустимых перегрузках, следующих за той или иной длительной нагрузкой. Допустимая длительность перегрузки зависит от величины предшествующей нагрузки, желаемой перегрузки, среднесуточной температуры охлаждающей среды и постоянной времени трансформатора. Австралийские нормы допускают большую перегрузку, чем британские.

По стандарту ASA перегрузки допускаются: 1) за счет понижения в данный момент температуры охлаждающего воздуха ниже 30° (соответственно для охлаждающей воды — ниже 25°); 2) за счет того, что предшествующая длительная нагрузка ниже номинальной; 3) за счет более низкого, чем 100%, коэффициента заполнения суточного графика нагрузки; 4) за счет сокращения срока службы трансформатора.

Первый метод может, очевидно, иметь практическое применение только в периоды времени (месяцы) устойчивого понижения среднесуточной температуры воздуха.

Второй критерий — просто нереальный. В подавляющем большинстве случаев в эксплуатации нет неизменной длительной нагрузки. У нас в СССР именно поэтому давно отказались от нормирования этого рода допустимых перегрузок.

Реальным методом является использование более низкого, чем 100%, коэффициента заполнения суточного графика нагрузки. Ранее в США рекомендовалось так называемое трехпроцентное правило, т. е. допускалась перегрузка в 3% от номинальной мощности трансформатора на каждые 10% снижения коэффициента заполнения суточного графика нагрузки ниже 100%. Теперь ASA рекомендует пятипроцентное правило (5% перегрузки на каждые 10% снижения коэффициента заполнения суточного графика ниже 100%), позволяющее несколько более полно использовать нагрузочную способность трансформатора, чем правило трехпроцентное. При этом, однако, уменьшается, что предполагается продолжительность перегрузки не более 4–5 час. в сутки. С другой стороны, пятипроцентное правило так же, как и трехпроцентное, необоснованно ограничивает использование нагрузочной способности трансформатора при максимуме нагрузки длительностью менее 4 час. в сутки.

Рекомендации ASA о перегрузках, допустимых за счет сокращения срока службы трансформатора, даны в виде довольно сложных графиков.

Небезынтересно отметить, что по проекту МЭК трансформаторы не должны подвергаться в эксплуатации нагрузкам выше номинальной.

Литература

1. A. Boyajian, H. S. Hubbard, H. M. Jalousack, V. M. Montsinger. Международный стандарт на трансформаторы и существующая практика. El. Eng. т. 67, стр. 663, № 7, 1948.
2. American Standards for Transformers, Regulators and Reactors, C57, 1948. American Standards Association. (Раздел C57. 12 пересматривается, должен быть издан дополнительно. В выпуске 1942 г. ему соответствует C57.1 раздел. 3.)
3. ГОСТ 401-41. Трансформаторы силовые масляные, 1941. Переиздание 1948.
4. Specification for Transformers, 2B (Secretariat) 501. International-Comission. Geneva, May 1939².
5. British Standard Specification 171. Brit. Stand. Institution, London, 1936.
6. C-61. Standards Association of Australia 1931.
7. 108, 108a 108, bf. Association Suisse des Electriciens, Zurich, 1940 и 1941.
8. Norme Française (Norme de Geurre) C-325, 1941.
9. Sen 30. Svenska Electrotekniska Normer, Stockholm. 1944.

Инж. А. В. САПОЖНИКОВ

Кандидат техн. наук Л. М. ШНИЦЕР

² [Л. 4 — 9] — указана в реферируемой статье.

Непроволочные угольно-керамические сопротивления поверхностного типа

В радиотехнической и радиолокационной аппаратуре, а также и в ряде других видов современной электротехнической аппаратуры получили большое распространение постоянные сопротивления, величина которых доходит до нескольких мегом. Изготовление таких сопротивлений из тонкой проволоки дает громоздкое и дорогое решение, так как даже в случае применения специальных сплавов не удается получить достаточно высоких значений удельного сопротивления; практически верхним пределом удельного сопротивления для проволоки малого диаметра является $1 \cdot 10^{-4} \text{ ом} \cdot \text{см}$. Решение проблемы массового изготовления дешевых и малогабаритных сопротивлений было достигнуто применением углерода, удельное сопротивление которого достигает значений порядка $1 \cdot 10^{-3} \text{ ом} \cdot \text{см}$, причем толщина угольных слоев может быть получена значительно меньшей, чем диаметр проволоки.

Непроволочные углеродные сопротивления изготавливались ранее путем введения мелкодисперсного углерода в лаковые пленки (поверхностные сопротивления) или в пластмассу (объемные сопротивления). Наличие органического компонента в сопротивлениях этого типа приводило к недостаточной их стабильности при колебаниях температуры и влажности, и к резко выраженному старению с течением времени. Такие сопротивления по своим электрическим характеристикам сильно уступали проволочным сопротивлениям и не могли применяться в ответственных схемах. Поверхностные угольно-керамические сопротивления, известные у нас под обозначениями СС, УС, ЛС и ВС, не содержат органической связки, а поэтому обладают более высокой стабильностью. Сопротивления этого типа изготавливаются путем нанесения тонкого слоя углерода на керамические стержни, нагретые до температуры $900 - 1000^\circ$, путем пиролизического разложения паров углеводородов в среде инертного газа или в вакууме [Л. 1]. В СССР и в странах Западной Европы изготовление сопротивлений этого типа было начато еще в довоенный период; в США первые образцы таких сопротивлений появились только во время войны [Л. 2]. В настоящее время американские фирмы оценили большие преимущества непроволочных сопротивлений данного типа, о чем свидетельствует появление ряда статей, рассматривающих вопросы производства, конструкции и электрических свойств этих сопротивлений [Л. 3, 4]. Согласно опубликованным данным толщина угольного слоя может колебаться в пределах от $2,5 \cdot 10^{-3}$ до $1,25 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$; нижний предел толщины слоя соответствует среднему значению толщины кристаллитов углерода, из которых состоит слой. Сопротивление слоя на керамических стержнях небольшого размера может достигать значений порядка нескольких тысяч или десятков тысяч ом; дальнейшее увеличение сопротивления достигается прорезанием на поверхности науглероженного стержня спиральной канавки, причем увеличение сопротивления в результате такой «нарезки» может составлять от 4 до 10 000, в зависимости от размеров стержня и шага нарезки. После нарезки концы стержней контактируются нанесением на них углеродистой или металлической проводящей пасты; после нагрева для запекания пасты из концы стержня насаживаются металлические колпачки с проволочными выводами. Далее сопротивление покрывается слоем защитного лака печной сушки. Особо ответственные сопротивления вместо лакировки защищаются путем герметической запайки в стеклянные трубочки. Ранее производилась только откачка этих трубочек перед запайкой; теперь они наполняются чистым гелием, что позволяет существенно улучшить теплопередачу от проводящего слоя к стенкам трубочки. Опыт показал, что качество керамических стержней имеет большое влияние на качество готовых сопротивлений. Применение пористой керамики недопустимо. Особую роль играет состояние поверхности; наличие микроскопических неровностей может приводить к понижению стабильности сопротивления, повышению температурного коэффициента и увеличению э. д. с. шумов. Влияние де-

фектов поверхности делается особенно заметным после нарезки сопротивлений. Играть роль также и состав керамики; некоторые керамические материалы, даже с высокой гладкостью поверхности, не дают удовлетворительного качества сопротивления, так как углеродный слой плохо сцепляется с поверхностью керамики. Величина температурного коэффициента (ТК) сопротивления зависит от толщины слоя. При уменьшении толщины слоя от 8 до $0,3 \cdot 10^{-7} \text{ см}$ ТК возрастает от 300 до $900 \cdot 10^{-6}$ на 1°C .

В производстве сопротивлений можно обеспечить величину ТК равную $335 \cdot 10^{-6}$ на 1° , с колебанием до $\pm 10\%$ от данного значения. Стабильность сопротивлений во времени весьма велика: при защите лаковым покрытием можно получить изменение сопротивления не более 1% в год, а при запайке в стеклянную трубочку — до 0,005% в год (в пределах возможной ошибки измерения). Стабильность таких сопротивлений выше, чем стабильность проволочных сопротивлений мегомного диапазона, но по величине ТК они уступают проволочным. Зависимость эффективного сопротивления от частоты у рассматриваемого типа непроволочных сопротивлений невелика, но все же при высоких частотах с ней приходится считаться. Нарезка мало оказывается на зависимости эффективного сопротивления от частоты, но лакировка, увеличивая распределенную емкость, несколько ухудшает частотную зависимость; поэтому при высоких частотах лучше применять сопротивления, запаянные в стекло. Уменьшение габаритов сопротивления улучшает частотную зависимость, но при этом уменьшается поверхность охлаждения и приходится снижать допускаемое значение мощности. Сопротивление диаметром 3,17 мм и длиной 19 мм длительно выдерживает нагрузку в 1 Вт. Температура поверхности лакированного сопротивления может доходить до 160° , не вызывая порчи лака. При запайке в стекло и в атмосфере инертного газа сопротивление может работать даже при температуре красного каления. При частотах порядка 100 мГц наравне с цилиндрическими сопротивлениями применяются также дисковые; удачные результаты дает применение конструкции из дискового и двух аксиально расположенных небольших цилиндрических сопротивлений, а также длинное цилиндрическое сопротивление небольшого диаметра, коаксиально вставленное в металлическую трубку. Для измерения высоких импульсных напряжений применяется система из двух трубчатых сопротивлений, вставленных одно в другое и включенных параллельно. Такое сопротивление при мощности 15 Вт имеет индуктивность менее 0,01 мкГн. Для сопротивлений большой мощности применяется водяное охлаждение, позволяющее увеличить номинальную нагрузку в 300 раз. Сопротивления с водяным охлаждением могут работать только в цепях переменного тока, так как при постоянном токе происходит анодное окисление проводящего слоя.

Некоторые данные, приведенные в статьях [Л. 2—4] представляют интерес для наших производителей. Вместе с тем, можно отметить, что ряд вопросов, которые в американском журнале освещаются как технические новинки, для нас уже не являются таковыми.

В частности, некоторые данные о зависимости ТК от величины сопротивления угольного слоя (т. е. от его толщины) и о влиянии качества керамики и состояния ее поверхности на качество сопротивления были опубликованы в нашей литературе еще в 1945 г. [Л. 5]. Первые образцы сопротивлений, запаянных в стекло, были изготовлены еще в 1944 г. В 1948 г. К. И. Мартышовым закончена весьма интересная работа, в которой дано теоретическое обоснование ряда тех закономерностей, которые американские исследователи успели обнаружить только теперь.

Литература

1. В. Т. Ренне. Непроволочные сопротивления поверхностного типа. Бюллетень электропромышленности Ленинграда, стр. 13, № 8, 1945.

2. E. S. Hageman. Precision Resistance Networks for Computer circuits. Bell Lab. Record, т. 24, стр. 445. № 12, 1946.

3. A. C. Pfistor. Precision Carbon resistors. Bell Lab. Record, т. 26, стр. 401, № 10, 1948.

4. W. Van Roosbroeck. High Frequency Deposited

Carbon Resistors. Bell Lab. Record, т. 26, стр. 407, № 10, 1948.

5. В. Т. Ренне и Х. Х. Ренне. Физика в производстве непроволочных сопротивлений. ЖТФ, т. 15, стр. 645, № 9, 1949.

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ



Регулирование напряжения последовательно включенными конденсаторами

В октябре 1947 г. на линии электропередачи 66 кВ Филлипс—Крусибл была введена в эксплуатацию последовательно включенная конденсаторная установка для регулирования напряжения. Линия электропередачи предназначена для питания сталелитейного завода и имела вначале нагрузку в 10 000 кВА, возросшую затем до 40 000 кВА. Основные потребители: электрические дуговые печи, большие синхронные двигатель-генераторные установки и двигатели с фазным ротором. Возросшая нагрузка, а также новое ответвление для питания города, вызвали необходимость улучшения регулирования напряжения. Непосредственно до установки конденсаторов средняя нагрузка за 15 мин. на приемном конце линии электропередачи была 28 000 кВА при $\cos \varphi = 0,875$ (32 500 кВА) и мгновенный пик нагрузки — 28 600 кВА при $\cos \varphi = 0,783$ (36 500 кВА), что соответствовало колебанию напряжения на подстанции Крусибл от 12 100 В при холостом ходе до 9 800 В при мгновенном пике нагрузки.

При выборе методов улучшения напряжения (регулятор напряжения ступенчатого типа, синхронный компенсатор, включенные последовательно или параллельно конденсаторы и вторая линия 66 кВ) был выбран включенный последовательно конденсатор, так как он достаточно хорошо выполняет регулирование напряжения, дешев и автоматичен в работе. Снижая полное сопротивление, конденсатор увеличивает пропускную способность линии электропередачи. С последовательно включенным конденсатором ток в линии Филлипс—Крусибл снизился на 10% при той же передаваемой мощности.

Размеры конденсатора определяются: 1) максимальной нагрузкой (с учетом дальнейшего роста); 2) потерей напряжения; требующей компенсации; 3) активным сопротивлением линии и связанных с нею трансформаторных групп.

Конденсатор был выбран на 500 А с емкостным сопротивлением 14 Ом, компенсирующим индуктивное сопротивление линии электропередачи 11,49 Ом и большую часть сопротивления системы — 3,5 Ом, присоединенной к линиям подстанции Филлипс. Он поднимал минимальное напряжение в Крусибл на 1 100 В при нагрузке около 30 000 кВА и $\cos \varphi = 0,8$. Такой конденсатор, включенный последовательно в линию с током в 500 А, дает падение напряжения 7 000 В. Ввиду отсутствия конденсаторов на такое напряжение, были выбраны и включены последовательно три стандартных конденсатора на напряжение 2 400 В мощностью по 15 кВА со стандартным защитным оборудованием. Так как единственный конденсатор при сопротивлении 384 Ом имеет протусковую способность 6,25 А, то параллельно были соединены 80 единиц. Тогда общее полное сопротивление трех групп последовательно соединенных конденсаторов, составляет 14,4 Ом. При гарантийной погрешности в мощности от нуля до 13% среднее полное сопротивление можно принять равным 13,5 Ом. При этом диапазон регулирования получается от 11 000 В до 12 100 В.

Если нагрузка не распределена вдоль линии, то конденсатор может быть расположен в любом месте со стороны питания так, чтобы максимальный ток короткого замыкания на нагрузочной стороне конденсатора не превышал допустимого значения для данной установки и чтобы напряжение на выводе со стороны нагрузки не превышало напряжения разрядников.

Параллельные искровые промежутки, защищающие конденсаторы, имеют установку на полуторное — дву-

кратное номинальное напряжение. Они расположены на каждой группе с напряжением 2 400 В и ограничивают его до номинальной величины 3 600 — 4 800 В. Промежутки спроектированы для низкого падения напряжения в дуге, исключающего повторное зажигание, чем достигается эффективная защита конденсатора при пробое искрового промежутка. Ток, текущий через искровой промежуток, проходит также через привод шунтирующего выключателя и замыкает его, ограничивая нагревание искрового промежутка. При шунтировании искрового промежутка ток через привод прекращается, после чего шунтирующий выключатель размыкается и конденсатор вводится в нормальную работу.

Шунтирующие выключатели просты, не требуют внешнего источника питания. Привод безиндукционен и при токе к. з. линии до 2 500 А включается в цепь непосредственно, а при больших токах — через насыщающийся трансформатор тока, который, действуя через привод, ограничивает ток до 2 500 А.

Основная роль шунтирующего выключателя заключается в ограничении времени действия дуги и во введении конденсатора в работу после ликвидации перенапряжения.

Защита против перегрузки не предусмотрена, так как рабочий ток линии меньше номинального тока конденсатора и находится под наблюдением дежурного персонала.

На каждом элементе конденсаторной установки предусмотрены индивидуальные плавкие предохранители. При большом числе параллельно включенных элементов срабатывание одного или двух плавких предохранителей мало влияет на напряжение конденсатора и на общее сопротивление всей установки.

Для уменьшения возможности развития резонансных явлений параллельно конденсаторам включено сопротивление соответствующей величины. Оно устраняет резонансные колебания, связанные с пусковым током двигателей или намагничивающим током трансформаторов.

Сопротивление для каждой фазы состоит из четырех групп по 400 Ом для длительной работы при напряжении на зажимах 7 200 В. Соединяя эти группы различным образом, можно получить значения в 400, 200, 133 и 100 Ом. Когда выяснится их оптимальная величина, можно будет поставить постоянные сопротивления. Каждая группа в 400 Ом состоит из 72 элементов, выполненных из нихромовой проволоки, намотанной на огнеупорные изоляторы, усиленные полосой из нержавеющей стали. Элементы установлены на циркониевых фарфоровых изоляторах, смонтированных на каркасе из угловой стали.

Литература

1. B. M. Jones, J. M. Arthur, C. M. Stern, A. A. Johnson. Последовательное включение конденсатора в 100 000 кВА улучшило напряжение 66 кВ линии электропередачи, питающие мощные дуговые электроды. Tr. AIEE, т. 67, 1948.

2. G. B. Miller. Проектирование и размещение на подстанции последовательно включенного конденсатора 10 000 кВА 66 кВ. Tr. AIEE, т. 67, 1948.

3. A. A. Johnson, R. E. Morbury, J. M. Arthur. Проектирование и защита трансформатора 10 000 кВА, включенного последовательно в линию электропередачи 66 кВ. Tr. AIEE, т. 67, 1948.

Инж. М. С. БАЯХЧЕВ



Новости в области конденсаторостроения

В последнее время начинают уделять большое внимание повышению точности при измерениях емкости и получению конденсаторов с высокой стабильностью емкости. В статье [Л. 1] рассматривается вопрос о влиянии относительной влажности воздуха на точность градуировки воздушных конденсаторов. При изменении относительной влажности можно было ожидать, что емкость конденсатора будет изменяться в соответствии с изменением диэлектрической проницаемости воздуха. Зависимость последней от влажности воздуха может быть выражена формулой

$$\epsilon = 1 + \frac{211}{T} \left(p + \frac{48}{T} p_s H \right) \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где T — абсолютная температура, $^{\circ}\text{K}$;

p — давление влажного воздуха, мм рт. ст. ;

p_s — давление насыщенных водяных паров, мм рт. ст. ;

H — относительная влажность воздуха, %.

Если колебания температуры лежат в пределах $+10 \div +30^{\circ}$, колебания давления воздуха — в пределах $730 \div 760 \text{ мм рт. ст.}$ и относительная влажность не превышает 70%, то изменение емкости воздушного конденсатора, обусловленное изменением ϵ воздуха при изменении влажности, может быть выражено упрощенной формулой

$$\Delta C = \frac{1,39 \cdot H t^2}{273 + 2t} \pm 2 \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где H — относительная влажность воздуха в %;

t — температура в $^{\circ}\text{C}$.

Измерения емкости воздушного конденсатора при различных значениях относительной влажности воздуха показали, что при значениях влажности до 30% изменения емкости, найденные из опыта, совпадают с расчетными значениями, полученными по формуле [Л. 2]. При более высокой влажности измеренные значения делаются больше расчетных, причем расхождение увеличивается с повышением влажности. Начиная с влажности порядка 40%, наблюдается возрастание угла потерь конденсатора. При влажности 65% фактическое изменение емкости уже в 2 раза превышает расчетные значения. При влажности 85% абсолютное изменение емкости достигает 0,1% и при этом значении влажности угол потерь достигает значения $5 \cdot 10^{-3}$, в то время как при влажности 40% значение угла потерь лежало в пределах $5 \div 11 \cdot 10^{-5}$. Расхождение между опытом и расчетом следует объяснять образованием пленки воды на поверхности пластин конденсатора, а также на поверхности твердого диэлектрика, который из конструктивных соображений неизбежно присутствует в каждом воздушном конденсаторе. При снижении влажности пленка исчезает и первоначальные характеристики конденсатора полностью восстанавливаются. При относительной влажности воздуха порядка 50 ÷ 60% изменение влажности на 2% дает более заметное изменение емкости, чем изменение температуры на 5° . Поэтому при точных измерениях емкости с помощью воздушных образцовых конденсаторов надо не только учитывать температурные изменения емкости, но также и изменения емкости, вызываемые изменением относительной влажности воздуха.

В статье [Л. 2] дано описание методики точного измерения емкости в Национальной физической лаборатории. Первичным образцом при проверке конденсаторов служит образец взаимной индуктивности. Точные измерения емкости производятся с помощью этого образца и набора образцовых сопротивлений на мостовой установке. При измерении емкостей, лежащих в пределах от 0,001 до 1 мкф , можно получить точность $\pm 50 \cdot 10^{-6}$, т. е. $\pm 0,005\%$. Измерения сложны и кропотливы, а потому установка применяется только для проверки вторичных образцов емкости. Для обычных проверок конденсаторов, выполняемых в лаборатории, применяется другая мостовая установка, в которой используются вторичные образцы емкости, проверенные на первой установке с точно-

стью $\pm 0,005\%$. Вторичными эталонами емкости служат два воздушных переменных конденсатора с пределами изменения емкости от 200 до 2000 мкмкф и набор слюдяных конденсаторов, позволяющий получать значения емкости от 0,005 до 1,1 мкф с изменением емкости набора ступенями по 0,005 мкф . Проверка вторичных эталонов выполнена с таким расчетом, чтобы при любом значении емкости набора (в указанных выше пределах) была бы обеспечена точность $\pm 0,01\%$.

Вторая установка конструктивно оформлена в виде компактного устройства, позволяющего достаточно быстро и удобно производить измерение емкости поверяемых конденсаторов. Установка включает усилитель, дополнительную ветку, образцовый воздушный конденсатор емкостью 2000 мкмкф и балластный конденсатор емкостью до 1,1 мкф . Все элементы установки тщательно экранированы; провода, идущие к измеряемой емкости также имеют индивидуальную экранировку. Измерения на этой установке могут производиться в диапазоне частот от 50 до 100 000 гц . При значениях емкости испытуемого конденсатора в пределах от 100 мкмкф до 1 мкф измерение может быть выполнено методом замещения при использовании вторичных эталонов; точность сравнения от $\pm 0,005\%$ при наименьшем значении емкости до $\pm 0,0001\%$ при наибольшем значении. При емкостях более 1 мкф или менее 100 мкмкф приходится производить измерение при измененном отношении плеч моста. В этом случае точность сравнения составляет $\pm 0,01\%$ или $\pm 0,001 \text{ мкмкф}$. Для измерения угла потерь в качестве исходного образца служит специальный воздушный конденсатор емкостью 1250 мкмкф ; его пластины посеребренны, а затем покрыты слоем родия. Коэффициент мощности этого конденсатора составляет $3 \div 7 \cdot 10^{-6}$. Угол потерь вторичных образцов измерен по отношению к этому исходному образцу.

Используя данную установку, лаборатория производит поверку конденсаторов с точностью $\pm 0,01\%$ по величине емкости (для емкостей, лежащих в пределах от 50 мкмкф до 1 мкф) и с точностью до $2 \cdot 10^{-5}$ по величине угла потерь. В некоторых случаях требуется определить также и величину индуктивности испытуемых конденсаторов. Эта величина вычисляется по значению резонансной частоты, определяемой для контура, полученного путем подключения известной малой индуктивности к выводам испытуемого конденсатора. При испытании вторичных слюдяных образцов емкости были получены следующие значения индуктивности: при емкости 0,5 мкф ... 0,034 мкгн , при емкости 0,2 мкф ... 0,06 ÷ 0,08 мкгн и при емкости 0,1 мкф ... 0,11 ÷ 0,17 мкгн .

При наблюдении с помощью описанной установки за стабильностью емкости слюдяных вторичных образцов в течение 6 лет при колебаниях температуры помещения до 4° были получены следующие значения колебания значения емкости: для образцов с емкостью 0,1 мкф и ниже — несколько микромикрофард, с емкостью 0,2 мкф ... 5 ÷ 10 мкмкф и с емкостью 0,5 мкф ... 20 ÷ 30 мкмкф . Колебания емкости наблюдались как в сторону ее снижения, так и в сторону увеличения.

В нашей практике вопрос о точной проверке емкости конденсаторов является в настоящее время весьма актуальным. В результате работ ВНИИМ достигнуты предельные точности проверки емкостей, весьма близко подходящие к приведенным выше данным.

Мы уже сообщали раньше [Л. 3, 4] о новых типах конденсаторов с диэлектриком из синтетических пленок, выпускаемых под общим наименованием «Пластикон». До сих пор эти конденсаторы изготовлялись из двух типов синтетических пленок: типа А с относительно высокой нагревостойкостью (до 125°), высокой электрической прочностью и относительно высоким углом потерь и типа Л с пониженной нагревостойкостью и электрической прочностью, но с весьма малым углом потерь. Конденсаторы из пленки типа А предлагались как заменитель для бумажных конденсаторов, работающих при повышенных температурах, а из пленки типа Л — как заменитель для слюдяных конденсаторов. Можно полагать, что пленка типа Л представляет собой ориентированный

полистирол; состав пленки А неизвестен и его трудно точно установить по тем характеристикам конденсаторов, которые сообщаются; возможно, что эта пленка изготовляется на основе поливинилхлорида. Пленка типа А применяется в конденсаторах в сочетании с кремнийорганической жидкостью (типа АS) или с минеральным маслом (тип АО). Во втором случае верхний предел рабочей температуры снижается до 105° .

В последних сообщениях [Л. 5] указывается, что начат выпуск конденсаторов из третьего типа синтетической пленки—типа Т, также применяемой в сочетании с кремнийорганической жидкостью (конденсаторы типа ТS). Новые конденсаторы рассчитаны на длительную работу при температуре 150° С и кратковременную работу при температуре 200° С. Получение столь высокой рабочей температуры иногда представляет затруднение даже при использовании керамических конденсаторов.

Постоянная времени конденсаторов «пластикон ТS» при температуре 150° превышает 1 500 сек.; коэффициент мощности при частоте 1 мГц составляет: при 70° —0,0005 и при 150° —0,001; при частоте 60 Гц коэффициент мощности лежит в пределах $0,0002 \pm 0,0003$. Температурный коэффициент емкости отрицательный и лежит в пределах $(300 \div 400) \cdot 10^{-6}$ на 1° С. Указывается, что пленка типа ТS изготавливается из политетрафторэтилена [Л. 6]. Конденсаторы нового типа рекомендуются для применения при постоянном напряжении в тех случаях, когда требуется обеспечить надежную работу при особо высокой рабочей температуре, а также для целей блокировки и шунтирования в цепях высокой частоты. В настоящее время эти конденсаторы изготавливаются с относительно небольшой емкостью и повышенным рабочим напряжением. Конденсаторы типа ТS емкостью 0,01 мкф для рабочего напряжения 3 000 в постоянного тока имеет диаметр 23 мм и длину 57 мм. Освоение выпуска конденсаторов подобного типа представляет интерес и для нашего конденсаторостроения.

Конденсаторы с диэлектриком из полистирольной пленки, повидимому, аналогичные конденсаторам типа «Пластикон», выпускаются также под маркой «Уникон» [Л. 7]. Сообщается, что эти конденсаторы отличаются малым остаточным зарядом и высокой постоянной времени. При заряде конденсатора емкостью 1 мкф, напряжением 3 000 в и последующем разряде замыканием накоротко на 0,1 сек. величина остаточного заряда не превышает 0,08%. Постоянная времени у конденсаторов данного типа составляет 400 000 сек., а $\text{tg } \delta$ не более $5 \cdot 10^{-4}$; верхний предел рабочей температуры равен $+65^{\circ}$ С. Конденсаторы изготавливаются открытого типа с заливкой воскообразным веществом, а также и в герметизированном конструктивном оформлении. Некоторые данные о конденсаторах аналогичного типа мы уже сообщали ранее [Л. 8]. Эти данные относились к конденсаторам с рабочим напряжением 200 в. Теперь указывается, что конденсаторы типа «Уникон» изготавливаются с номинальной емкостью до 5 мкф и с рабочим напряжением до 25 кВ.

В настоящее время полистирольные конденсаторы уже не являются технической новостью для нашего конденсаторостроения, так как изготовление таких конденсаторов ведется у нас рядом организаций. Известный интерес представляют лишь данные о малой величине остаточного заряда этих конденсаторов, так как с этой точки зрения исследование их свойств было проведено недоста-

точно полно, поскольку основное внимание уделялось вопросу о получении высокой стабильности емкости малого угла потерь.

В области исследования бумажных конденсаторов можно отметить статью [Л. 9], в которой рассматривается вопрос о влиянии содержания влаги в диэлектрике бумажного конденсатора на его электрические свойства. При изменении содержания влаги от 0,2 до 4% емкость исследованного конденсатора увеличилась от 0,90 до 1,18 мкф (т. е. на 31%), коэффициент мощности при 1 кГц увеличился от 0,005 до 0,038, а сопротивление изоляции уменьшилось от 7 000 до 1 мгом. Содержание влаги определялось на готовых пропитанных конденсаторах путем их длительного прогрева под вакуумом и улавливания выделяющейся воды химическим поглотителем. Значительно ранее детальное исследование изменения электрических свойств конденсаторов при поглощении влаги было опубликовано в нашей литературе [Л. 10]. В качестве критерия, по которому можно было судить о количестве поглощенной влаги, было выбрано сопротивление изоляции, для которого была установлена однозначная зависимость от содержания влаги. Данные [Л. 9] в основном подтвердили результаты наших работ. В работе [Л. 9] имеется указание о том, что наличие влаги в диэлектрике конденсатора резко сокращает его срок службы. Конденсатор с двумя слоями бумаги по 10 мкм, пропитанный галоваксом, при напряжении 500 в (напряженность поля 25 кВ/мм) при увеличении содержания влаги от 0,15 до 4% уменьшает срок службы в 40 000 раз. В указанной выше работе [Л. 10] было отмечено, что электрическая прочность бумажного конденсатора начинает заметно снижаться, когда его постоянная времени под действием поглощенной влаги падает ниже 30—50 сек. (по данным [Л. 9] это соответствует количеству поглощенной влаги около 2%); резкое сокращение срока службы бумажных конденсаторов при поглощении ими влаги было установлено также И. И. Морозовым в его работе, проведенной в 1945—1946 гг. и опубликованной в 1947 г. [Л. 11].

Таким образом, в данном вопросе можно в значительной степени отметить отечественный приоритет.

Литература

1. L. H. Ford. JEE, ч. II, т. 95, № 48, стр. 709—713 1948.
2. G. H. Rayner, L. H. Ford. JEE, ч. II, т. 95, № 45, стр. 312—319, 1948.
3. Электричество, № 2, стр. 86, 1947.
4. Электричество, № 7, стр. 84, 1948.
5. Electronics, т. 21, № 11, стр. 181, 1948.
6. Электричество, № 5, стр. 87, 1947.
7. IRE, т. 36, № 10, стр. 221, 1948.
8. Электричество, № 6, стр. 86, 1947.
9. D. A. McLean. Bell Lab. Rec., т. 26, стр. 170—173, 1948.
10. В. Т. Ренне и И. Б. Васильков. Влагостойкость бумажных конденсаторов. Бюллетень электропромышленности Ленинграда, № 9—10, стр. 6—10, 1946.
11. И. И. Морозов. Герметичные низковольтные бумажные конденсаторы. Радиотехника, т. 2, № 2, стр. 51, 1947.

Кандидат техн. наук В. Т. РЕННЕ



ПОПРАВКИ

В отделе дискуссии, в статье А. Б. Крикуничка (Электричество № 6, 1949) 82 стр., левый столбец, 12 строку сверху, следует читать: Выводы авторов о нецелесообразности ...

В статье И. М. Меерова (Электричество, № 7, 1949), на стр. 18, после формулы (2,4) следует читать: Уравнение (2,4) должно удовлетворять условиям устойчивости [Л. 3]. При устойчивости должно также выполняться условие:

ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция журнала «Электричество», начиная с этого номера, будет помещать консультации по запросам, представляющим широкий интерес.

ВОПРОС:

Прошу сообщить, как использовать обычную компактную машину постоянного тока мощностью до 2,5 кВт при напряжении 120 в в качестве электромашинного усилителя. Какие недостатки будет иметь такой «усилитель» и можно ли его использовать для учебных целей.

И. Т. ХЛЮСТОВ

ОТВЕТ:

Для использования нормальной четырехполюсной машины в качестве электромашинного усилителя необходимо выполнить следующие изменения:

1. Якорная обмотка должна быть перемотана на двухполюсное исполнение. Так как использование активных частей машины в качестве электромашинного усилителя меньше, чем в нормальной машине, примерно, раза в два—три, то следует это учесть при выборе обмоточных данных якоря.

2. Одну пару щеток *одинаковой* полярности следует разомкнуть, а другую пару оставить замкнутыми на коротко.

3. Обмотки возбуждения главных полюсов заменить новыми, из которых одна будет компенсационной (К), другая — обмоткой управления (У). Соединение обмоток и их расположение на полюсах показаны на рисунке. Соединение катушек отдельных обмоток может быть последовательным. Включение обмоток должно быть таким, чтобы образовались два соседних северных полюса и два соседних южных полюса. Действие компенсационной обмотки должно быть встречным по отношению к реакции якоря рабочего (выходного) тока (I), а величина ампервитков каждой катушки (К) должна быть, примерно, на 5% больше величины $AS\frac{\tau}{8}$, где AS — линейная нагрузка якоря от рабочего тока, τ — полюсное деление якоря при двухполюсном исполнении.

Размеры обмотки управления необходимо согласовать с оставшимся местом на главных полюсах. Сечение обмотки выбирается в соответствии с током I_y и напряжением U_y , располагаемого источника цепи управления.

Для обеспечения удовлетворительной коммутации щеток рабочего тока плотность тока в них не должна превышать нормальную и, кроме того, необходимо в зоне коммутации щеток оставить дополнительные полюса (ДП) с соответственно рассчитанной обмоткой на рабочий ток I .

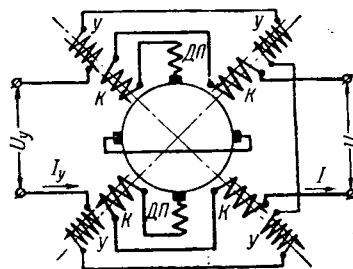


Схема соединений электромашинного усилителя при его изготовлении из нормальной машины постоянного тока.

Учитывая необходимость сохранения плотности тока на щетках рабочего тока, целесообразно выбрать номинальное значение рабочего тока электромашинного усилителя, равным половине номинального тока переделываемой машины. Остальные два дополнительных полюса следует удалить полностью. Несовершенная компенсация реакции якоря и наличие сплошного магнитопровода значительно снижают быстродействие и качество такого электромашинного усилителя.

Доц. Ф. А. ГОРЯИНОВ



К статье П. Л. Калантарова и Л. Р. Неймана „Определения понятий, относящихся к области электромагнитных явлений“

(Электричество, № 2, 1949)

Кандидат техн. наук, доц.

А. А. ЯНКО-ТРИНИЦКИЙ

Кафедра теоретической электротехники
Уральского политехнического института

Совет электромеханического факультета Ленинградского политехнического института им. Калинина в лице своей комиссии по единицам измерений, обозначениям и терминам в области электротехники проделал большую и очень нужную работу. Разработанный комиссией проект дает возможность выяснить разногласия, существующие по основным определениям в этой области, и тем самым достигнуть большего совершенства и унификации определений.

Ограничусь некоторыми замечаниями.

Первое. В пп. 12 и 13 дано недостаточно общее определение электрического потенциала. Данное определение пригодно лишь для электростатического поля и электрического поля стационарного тока; однако, никакого указания на эти ограничения в проекте нет. В общем же случае это определение является неверным, так как вектор \vec{E} не всегда потенциален. Например, для неподвижной среды на основании второго уравнения Максвелла и определения векторного потенциала можно написать:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} \vec{A} = -\operatorname{rot} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t},$$

или

$$\operatorname{rot} \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0,$$

откуда следует, что вектор $\vec{E}' = \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ потенциален и может быть представлен как градиент некоторой скалярной функции пространственных координат и времени:

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\operatorname{grad} \varphi.$$

Следовательно, разность потенциалов двух точек будет равна:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) d\vec{l}.$$

Таким образом, определения, данные в пп. 12 и 13, справедливы лишь в том случае, когда $\int \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} d\vec{l}$ обращается в нуль.

Второе. В пп. 20 и 80 дано определение дipoля, не совпадающее с общепринятым. Если расстояние до точки наблюдения соизмеримо с расстоянием между зарядами (или соответственно магнитными мас-

сами), то обычно говорят о двух отдельных зарядах противоположного знака. Если же расстояние до точки наблюдения становится весьма большим по сравнению с расстоянием между зарядами, то говорят о двойном полюсе или диполе. Поэтому в пп. 20 и 80 желательно добавить слова «на расстояние, малое по сравнению с расстоянием до точки наблюдения». Если же оставить в силе определение авторов проекта, то желательно ввести дополнительный термин «элементарный диполь», определив его в указанном мною смысле.

Третье. Термин электрическая индукция, данный в п. 28, во избежание путаницы, желательно исключить из обихода, оставив более распространенный термин «электрическое смещение».

Четвертое. Если в случае электростатического поля определить потенциал согласно п. 12, а затем по п. 34 определить емкость уединенного тела, то последняя будет величиной неопределенной, так как при фиксированной величине заряда, потенциал будет иметь различные значения при выборе различных точек отсчета. Согласно определениям по пп. 12 и 34 емкость уединенного тела сможет приобретать бесконечно большое число различных значений, в том числе и бесконечно большое значение. Во избежание этой неопределенности или многозначности необходимо в определении п. 34 добавить, что оно справедливо лишь в том случае, когда за точку отсчета потенциала или точку сравнения принята точка, находящаяся вне поля, или так называемая бесконечно удаленная точка.

Аналогичная неточность вкралась и в определение пп. 36, 37, 38, 39, 40, 41.

Пятое. Термин электрокинетика, данный в п. 42, отнюдь не является общепринятым и бесспорным. Термин электродинамика, данный в п. 105, также не соответствует общепринятому и более широкому его толкованию.

Шестое. Это замечание относится к пп. 8, 46, 47, 48, 49, 72. Не слишком ли часто в проекте применяется термин сила в случаях, где речь идет вовсе не о силе? В старину ко всем проявлениям природы прилагалось слово «сила»: сила давления, сила сопротивления, сила тока, сила напряжения, живая сила и т. д. Например Гельмгольц свой трактат о сохранении энергии назвал: «сохранении силы». В меру развития науки терминология стала уточняться; вместо сохранения силы, говорят о сохранении энергии; вместо живой силы применяют термин кинетическая энергия и т. д. Предлагаю вместо термина «сила тока» ввести термин «ток», например, ток равен 5 а. Смещения двух понятий: тока, как явления и тока, как величины, не следует опасаться. В механике «ускорение» обозначает и процесс и величину и никакие неприятностей это не порождает. Если же в какой-либо формулировке необходимо особо оттенить, что речь идет не о токе, как явлении, а о величине тока, то можно так и сказать—«величина тока», например—«абсолютная величина тока».

Седьмое. Предлагаю в пп. 19 и 79 добавить слова в. е. в объеме, линейные размеры которого весьма малы по сравнению с расстоянием до точки наблюдения», чтобы подчеркнуть, что и заряд конечных размеров можно на больших расстояниях от него рассматривать как точечный. Точечных зарядов в абсолютном смысле слова не существует.

Восьмое. В п. 54 э. д. с. определена, как линейный интеграл напряженности электрического поля вдоль рассматриваемого пути. Затем в п. 55 электрическое напряжение определено, как э. д. с., «действующая» на рассматриваемом участке цепи. Таким образом, напряжение есть линейный интеграл напряженности, «действующий» на рассматриваемом участке цепи. Слово «действующий» в данном случае весьма туманно. Если под словом «действующий» на рассматриваемом пути понимать интеграл, взятый вдоль данного пути, то определение будет неверным. Если же под словом «действующий» на рассматриваемом пути понимать интеграл, взятый с соответствующим знаком вдоль пути, дополняющего рассматриваемый путь до замкнутого, то следовало бы так и сказать во избежание кривотолков. Эта неточность определения тем более досадна, что несколькими пунктами ниже, а именно в п. 124, авторы проекта предлагают уже понимать слово «действующий» как «среднеквадратичный» или «эффективный». Такая неточность в фундаментальных определениях нежелательна.

Девятое. Согласно п. 67 магнитная масса равна магнитному потоку, истекающему из замкнутой поверхности, а в п. 63 магнитный поток определен, как поток вектора \vec{B} . Из этих двух определений следует, что магнитная масса равна нулю, так как вектор \vec{B} источников не имеет. Под магнитной массой понимают обычно источник вектора $\mu_0 \vec{H}$, а не вектора \vec{B} , а именно:

$$m = \oint_s \mu_0 \vec{H} d\vec{s} = \mu_0 \oint_s \vec{H} d\vec{s}.$$

Десятое. При определении вектора \vec{B} (п. 62) авторы проекта исходят из токов, а при определении вектора \vec{H} (п. 71) исходят из магнитных масс (к тому же согласно пп. 63 и 67 равных нулю). Создается впечатление невозможности определения магнитного поля, исходя из токов и необходимости введения двух начал: токов и магнитных масс. Подобный дуализм ничем не оправдывается. Можно определить вектор \vec{B} , как это сделано в п. 62. Затем ввести понятие магнитного момента контура с током, как произведения из μ_0 , тока и вектора, изображающего поверхность, опирающуюся на контур с током:

$$\mu_0 i \vec{S}.$$

Затем определить вектор интенсивности намагничивания \vec{J} , как предел отношения геометрической суммы магнитных моментов молекулярных токов, находящихся в элементе объема, к этому объему при стремлении последнего к нулю. После этого вектор \vec{H} определяется из равенства

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} (\vec{B} - \vec{J}).$$

Авторы проекта могут возразить мне, что подобное определение \vec{H} вывело бы нас за рамки макроскопической электродинамики. На это могу заметить, что в пп. 22 и 84 авторы вышли за рамки макроскопической электродинамики в том же смысле.

Одиннадцатое. Из пп. 63, 109 и 112 нельзя никак усмотреть, когда коэффициент взаимной индукции следует считать положительным и когда отрицательным. Необходимо добавить, что положительное направление обхода контура или положительное направление тока и положительное направление магнитного потока, пронизывающего контур, связаны по правилу правого винта.

Двенадцатое. Из пп. 133 и 137 следует, что понятие активная мощность авторы рекомендуют приме-

нять лишь при синусоидальном токе. Обычно в литературе это понятие распространяется и на случай несинусоидальных токов и отождествляется с понятием средняя мощность.

Тринадцатое. Если в пп. 134, 135, 138 речь идет о простейшей неразветвленной цепи, то определение полной мощности можно сохранить, но тогда можно более наглядно истолковать реактивную мощность, как это сделано, например, в книге П. Л. Калантарова по теории переменных токов. Если же речь идет о сложной цепи (например, трехфазной), то определение, данное в п. 134, непригодно, а следовательно, непригодно и определение реактивной мощности, данное в п. 138.

Повидимому, лучше в случае синусоидальных токов определить сначала реактивную мощность одного участка цепи, как это сделано в упомянутой книге П. Л. Калантарова, затем определить реактивную мощность всей цепи, как алгебраическую сумму реактивных мощностей отдельных участков ее, а затем определить полную мощность всей сложной цепи, как корень квадратный из суммы квадратов активной и реактивной мощностей.

Четырнадцатое. Желательно в определении скалярного магнитного потенциала (п. 75) добавить несколько слов о его многозначности или цикличности, как характернейшем свойстве этого потенциала. От этого определение только выиграло бы.

Кандидат техн. наук А. И. АРТЕМЬЕВ

Ивановский энергетический институт им. Ленина

Опубликованный в № 2 журнала «Электричество» проект представляет значительный интерес для советских электриков. Научное определение физических понятий имеет важнейшее значение для материалистического понимания явлений природы, в частности, явлений электрических и магнитных.

При определении понятий, относящихся к электромагнитным явлениям, необходимо исходить из следующих основных предпосылок:

1. Электромагнитные явления происходят в физическом пространстве. Носителями электричества являются известные материальные частицы дискретного характера. Магнитное поле есть особое напряженное состояние материальной среды, вызываемое движущимися зарядами и проявляющееся в той или иной форме (механические силы и т. д.).

2. Определения должны отражать современный уровень познаний в области электромагнитных явлений.

3. В определении должна быть в первую очередь подчеркнута физическая сторона явления, а дальше должно быть дано ее математическое и логическое отображение в виде формул, соотношений и т. д.

Обращаясь к представленному проекту, необходимо отметить, что совершенно невозможно дать научное определение электромагнитным явлениям, если базироваться только на макроскопических, усредненных проявлениях этих явлений. В этом случае все понятия сведутся к логическим схемам и связям, не раскрывающим физическое содержание явлений электричества и магнетизма. Мы получили бы контуры здания без описания его конструкции и внутреннего устройства. К сожалению, такой подход к задаче наложил свой отпечаток на некоторые, особо важные, определения, представленные в проекте.

Первое. Что такое электричество? В проекте оно определено как физический агент, существующий в двух видах: положительное и отрицательное электричество и дальше отмечается свойство притяжения противоположных по знаку зарядов и отталкивание одинаковых. Было бы лучше дать определение электричеству как одному из видов энергии в природе и указать, что изве-

стными носителями электричества являются протоны и позитроны (положительное электричество) и электроны (отрицательное электричество). Эти носители обладают элементарным (наименьшим из известных) электрических зарядов (количеств электричества).

Второе. Электрический потенциал поля (п. 12) и разность потенциалов (п. 13) определены через линейные интегралы от напряженности поля по длине. Такое определение схематично и носит формальный характер. Целесообразнее определить электрический потенциал как меру уровня энергии поля при помещении в заданную точку единичного заряда относительно произвольно выбранной точки, обладающей нулевым уровнем энергии.

Третье. Параграфы 14, 15 и 16 должны быть объединены под наименованием «диэлектрики (изоляторы)», понимая под этим физическое вещество, способное удерживать заряды на проводниках, помещенных в это вещество. Пункты 17 и 18 должны быть также объединены под наименованием «проводники электричества», понимая под этим физическую среду, где возможно длительное прохождение электрических зарядов под влиянием внутренних или внешних причин.

Четвертое. Электрическая поляризация вещества (п. 23) должна быть определена как физическое явление в атомах диэлектрика, связанное с упругим смещением центров зарядов в неполяризованных атомах и поворот осей поляризации в поляризованных молекулах. Мерой интенсивности поляризации является электрический момент.

Пятое. Вместо диэлектрической проницаемости пустоты (п. 26) необходимо сказать—диэлектрическая проницаемость вакуума.

Шестое. В пп. 27 и 28 необходимо дать одно определение под названием «электрическое смещение»—векторную или тензорную величину, равную произведению напряженности электрического поля на диэлектрическую проницаемость вещества.

Седьмое. В пп. 34—37 определена электрическая емкость как отношение заряда к потенциалу. К этому определению необходимо дать вводную фразу, что электрическая емкость характеризует способность проводящего тела накапливать определенный электрический заряд при заданном потенциале.

Восьмое. Электрический ток конвекции (п. 44) определен, как движение обособленных зарядов в газах, электролитах и т. д. Здесь, естественно, уместно поставить вопрос: а разве ток в проводниках первого рода не есть движение обособленных зарядов—электронов? Таким образом, представленное определение тока конвекции, по существу, совпадает с определением тока проводимости. Электрический ток конвекции должен быть определен, как ток от движения атомов и молекул, несущих заряд.

Девятое. В пп. 46—49 утверждается имеющее пространство понятие силы тока, *не имеющее физического смысла*. Для обозначения интенсивности электрического тока должно быть подобрано более подходящее наименование и желательно русское.

Десятое. Определение э. д. с. (п. 54), как линейного интеграла от напряженности электрического поля, не может быть приемлемо, так как существуют явления, где с интегралом делать нечего (внешний фотоэффект, открытый Столетовым, и т. д.). Электродвижущая сила должна быть определена, как физический агент (причина), способный при определенных условиях вызвать электрический ток.

Едва ли приемлемо, как это сделано в проекте, отождествление электрического напряжения, как э. д. с. на участке. Электрическое напряжение необходимо представлять как разность потенциалов на участке цепи, понимая потенциал в широком смысле и применимым для явлений постоянного и переменного тока.

Одиннадцатое. В пп. 67, 68, 69 и 79 даны понятия, основанные на введении (утверждении) магнитной массы. Понятие магнитной массы давно изъято из научного обихода и рекомендовать это понятие не имеет смысла, так как оно противоречит физическому содержа-

нию магнетизма, как явлению, сопровождающему движущиеся заряды электричества.

Двенадцатое. Магнитный диполь (пп. 80—82) определен, как совокупность двух точечных магнитных масс. Такое определение не является приемлемым, поскольку магнитных масс не существует. Магнитный диполь должен быть определен, как круговой, замкнутый на себя, постоянный ток, ограничивающий небольшую площадь.

Тринадцатое. В пп. 124 и 125 дано второе определение эффективного значения тока, как ток действующего. Необходимо отметить, что в цепи действует любой ток, в том числе мгновенный, амплитудный, средний, однако, полезную работу, выделение тепла, приводит только ток эффективный, поэтому необходимо оставить одно определение—эффективный ток.

Четырнадцатое. Реактивная мощность (п. 138) должна быть определена как максимальная скорость изменения энергии магнитного и электрического поля, а для синусоидальных токов и напряжения численно равная квадрату корню из разности квадратов полных и активной мощностей.

В заключение необходимо отметить, что представленный проект далеко не охватывает всех явлений электромагнетизма, поэтому он должен быть расширен. В частности, в проекте совершенно отсутствуют многие понятия относящиеся к электронике, к теории цепей, переходным процессам и т. д. Однако, проработанная комиссией работа является значительной и должна приветствоваться как инициатива, создающая реальную перспективу нахождения, в результате критического обсуждения, надлежащих формулировок в области электромагнитных явлений.

Инж. Г. П. АБРАМОВИЧ

МЭМИИТ

Содержание проекта в целом совершенно не соответствует его наименованию; этот документ вовсе не определяет тех понятий, которые имелось в виду определить. В опубликованном тексте определены не понятия, а вводящее большинство пунктов определенные способы вычисления или нахождения соответствующих физических, электротехнических величин. Налицо вместо «определений понятий»—определения математических действий, приводящих к численному определению соответствующей величины. Примеров этого так много, что приводить их в извлечениях нет даже необходимости достаточно упомянуть пп. 3, 4, 5, 7, 21, 22, 24, 25, 27, 35—38, 39—41 и др. Разумеется, и определение действия важно и имеет свой смысл, но ведь оно не имеет принципиального значения, как определение понятий.

Главный дефект проекта состоит в том, что из 14 пунктов проекта нет ни одного, из которого можно было бы извлечь представление об идейной, философской направленности работы—езде априорности математических определений или голый эмпиризм вычислительных формул. Мы ценим и то и другое, но в нужном размере, в определенных условиях применения.

Проект составлен в 1949 г., но если не знать этого то по настоящей проводимой авторами макроскопической точке зрения на электрические явления (это в период существования атомной энергетики!) и отсутствия диалектико-материалистического выражения определенных явлений, датой проекта можно считать начало века. Лишенный руководящей идеи документ стал не более чем пестрым собранием «рецептов».

Наибольшую слабость проекта представляют места, где формулируются основные, принципиальные понятия так как отсутствие идейной направленности сказывается там особенно резко.

В определении первого же основного понятия «электричество» сделан шаг назад даже по сравнению с определением соответствующего термина 05—15—10 по международному электротехническому словарю, в котором сказано: «электричество—физический агент, *исходящий*

роль в атомном строении материи, который можно, затратив энергию, разделить на две составляющие, условно называемые положительным и отрицательным электричеством». В предлагаемом проекте определении выброшено слово о связи с материей и бесстрастно трактуется о физическом агенте, который может иметь два знака.

Насколько свежее и современнее звучат давно написанные слова Энгельса: «На земле не происходит почти одного изменения, не сопровождаемого какими-нибудь электрическими явлениями. При испарении воды, при горении пламени, при соприкосновении двух различных или разнотелых металлов, при соприкосновении жидкостей и раствора медного купороса и т. д. происходят, рядом с более бросающимися в глаза физическими и химическими явлениями, одновременно и электрические процессы» (Ф. Энгельс. Диалектика природы. стр. 85, изд. Госполитиздат, 1948).

В п. 2, в определении электрического задано сказано: «Избыток количества электричества одного знака над количеством электричества другого знака в теле, в теле и в пустоте». Последнее слово привлекает внимание, употреблено оно не случайно и применено многоразно. О целесообразности этого выражения уместно сказать несколько слов. «Пустота» в русском языке означает лишь «пустое незаполненное пространство, место», толковый словарь русского языка под ред. Ушакова). Опуская существование в пустоте электрического заряда, мы допускаем тем самым и существование поля вокруг этого заряда, поля, являющегося реальным выражением взаимосвязи данного заряда с окружающей средой; существование поля означает уже отсутствие пустоты, потому что ни один материалист в наше время не может отрицать материальности характера поля, в частности, поля электрического. Лучше бы было сказать вместо: «пустота», «разреженность», «разреженное пространство», «пространство с малой плотностью вещества» или применить иной термин, имеющий определенный физический смысл. Необходимо заменить слово «пустота» во многих из предложенных в проекте определений. Характерный образец логической противоречивости и философской недостаточности представляет п. 26 «Диэлектрическая проницаемость пустоты». Электричество, «находящееся в пустоте», делает ее уже не пустотой. Определения, связанные с пустотой как физическим предметом, стоят на нематериалистическом основании дальнего отступления и потому приемлемы, не говоря уже об их логической противоречивости. В некоторых случаях в проекте слово «пустота» вводится вместо выражения «вакуум» тогда как должен быть введен термин «разреженность», «разреженное пространство» и т. д.

Дословный перевод с латинского ведет к искажению значения, к недоразумениям и не выражает существа дела.

В некоторых пунктах проекта заметно отступление от терминов, установленных международной электротехнической комиссией (МЭК) не в сторону их развития, а в сторону большей формализации и выхолащивания физического смысла. Например, термин 05-20-045: «Тока смещения — ток, обнаруживающийся в диэлектрике при изменении электрического поля», — заменен (п. 45): «Электрический ток смещения — изменение потока смещения по времени», а поток электрического смещения определен в п. 29, как: «Поток вектора электрического смещения», т. е. вместо физического определения префигурирована известная формула и ничего более.

Отступление от термина МЭК 05-20-010 привело к замене физического определения электродвижущей силы изложением математической формулы (п. 54): «Линейный интеграл напряженности электрического поля вдоль рассматриваемого пути».

Нет необходимости останавливаться на особенностях этих определений — общая линия проекта достаточно ясна и линия эта — формализм с соблюдением, правда, математической строгости, который от этого не перестает быть формализмом.

Несколько слов о других, менее существенных недочетах проекта: 1) коэффициенты само- и взаимной индукции неизвестно почему рассматриваются только как статические; 2) определения — синонимы 67, 68, 110, 111,

112, 113, 124 и 125 даны в отдельной нумерации без достаточных к тому оснований; 3) выражение «покоящийся электрический заряд» для лиц, признающих наличие элементарных зарядов, означает то же, что и выражение: «живой покойник», а между тем выражение «покоящийся заряд» применено в определении электростатического поля; 4) определения 115—144 выражают соответствующие математические формулы и в этом отношении безупречны.

Выводы. а) Предлагаемый проект в его настоящем виде является неудовлетворительным. б) По меньшей мере десять самых основных принципиальных определений должны быть тщательно разработаны отдельно для выражения научно-прогрессивных взглядов на электрические явления. К таким основным определениям можно отнести: электричество, электрический заряд, электрический ток, электрическое поле, магнитное поле, магнитный поток, электромагнитное поле, диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость, проводимость, в) Для остальных определений, где математическая формулировка оказывается педагогически полезной и практически удобной, сохранить ее, предпослав ей в уместной форме и размере определение физической сущности величины или понятия.

Инж. Е. Я. ГУРЕВИЧ

ЦЛЭМ Мосэнерго

Ряд определений «Проекта» представляет собой простую тавтологию. Например, п. 122: «Мгновенное значение электрического тока — значение электрического тока в данный момент времени». Таково и определение мгновенной мощности в п. 132. Или в п. 29: «Поток электрического смещения — поток вектора электрического смещения».

Ряд определений не увязывается друг с другом, а вместе противоречат здравому смыслу. Например, в п. 17 дается определение проводящей среды, а в п. 18 дается отдельное совершенно аналогичное определение проводящего вещества. Следовательно, получается, что проводящая среда не есть проводящее вещество. Что же она такое? Если под веществом понимать материю, то проводящая среда оказывается не материальной! «Диэлектрик (п. 14) — это среда, в которой может существовать электрическое поле». Но ведь среда, по мнению авторов «Определений», это не вещество. Следовательно, получается, что диэлектрик также не вещество! Для определения диэлектрика вовсе не необходимости привлекать понятие об электрическом поле. Известно, что в (идеальном) диэлектрике (пока он сохраняет свое основное свойство) не может возникнуть электрический ток (проводимости). Этот признак и следовало бы использовать, разделив определения идеального и реального диэлектрика.

В «Определениях» в большом числе случаев объяснения понятий подменяются изложением способа вычисления соответствующих величин. Это видно из того, что свыше 70 определений, составляющих ровно половину их общего числа, представляют собой просто словесную запись буквенных формул. Приведем примеры:

Пункт 24. «Интенсивность электрической поляризации вещества: векторная величина, равная пределу отношения электрического момента вещества в элементе объема к этому элементу при стремлении последнего к нулю».

Пункт 74. «Магнитодвижущая сила: линейный интеграл напряженности магнитного поля вдоль рассматриваемого пути» и т. д.

Таким образом, при попытке оценить определения с более общей точки зрения приходится признать, что определения носят сугубо формальный, оторванный от физики характер. Вызывается ли это необходимостью? Отнюдь нет. Выхолащивание физического содержания, конечно, приносит только вред.

Явное неблагополучие с «Определениями» чувствовала и редакция журнала «Электричество», которая пишет в своем введении, что «некоторые определения... вызовут, повидимому, наибольшую дискуссию и должны быть особенно тщательно рассмотрены в свете диалектического материализма». В самом деле, трактовать электричество, как «физический агент» (п. 1), или электрическое поле, как «область пространства», где существует особое физическое состояние, проявляющееся в действии механической силы на электрический заряд, внесенный в эту область» (п. 6), или магнитное поле тоже, как «область пространства», где аналогичные явления происходят с проводником электрического тока (п. 61), а электромагнитное поле, как «область пространства», где «сосуществуют электрическое и магнитное поля», значит подменять геометрическими категориями («область пространства») физический процесс. Упоминание в п. 114, что электрическое и магнитное поля являются двумя сторонами единого электромагнитного процесса, не улучшает дела. Неужели нельзя было сказать, что указанные силовые поля представляют собой не «область пространства», а физический процесс, который, конечно, происходит в некоторой области пространства. Что касается «физического агента» — электричества, то в нем легко обнаружить родного брата покойной «электрической жидкости», от которой он в сущности ничем не отличается, так как обладает только одним свойством — состоять из положительного и отрицательного электричества — и полностью оторван от реально существующих электрических частиц, прочно вошедших в арсенал современной физики. Этот «агент» оторван также и от электромагнитного поля.

Обратим теперь внимание на определение т.с.ж., э.д.с. и напряжений. Уже многие годы большинство электриков не говорит и не пишет «сила» электрического тока. Никакого ущерба электротехника от этого не потерпела. Наоборот, использование термина

«величина» тока (или просто «ток») только улучшила формулировки, вновь и вновь подтвердив правоту Энгельса, который еще 70 лет назад писал, что «...прибегая к понятию силы, мы этим выражаем не наше знание, недостаточность нашего знания о природе закона и о сути его действия» («Диалектика природы», изд. 1946 г., стр. 57) и что «...во всякой области естествознания, даже в механике, делают шаг вперед каждый раз, когда они избавляются от слова *сила*» (там же стр. 12). Кстати, говоря о переменном токе, авторы «Определений» сами не применяют «силу» тока, а пользуются термином «значение» тока, не объясняя его.

Нет никакой необходимости определять э.д.с. (п. 5) только как линейный интеграл напряженности электрического поля по заданному пути. Прежде всего э.д.с. (если желать следовать указанию Энгельса, то ее следовало бы назвать иначе или, сохранив название из краткости, оговорить, что «сила» здесь не причем) является мерой энергии, поступающей в контур, а напряжение — мерой энергии, рассеиваемой на данном участке контура. В случае электростатического поля э.д.с. определяется, как работа по перемещению единичного заряда навстречу направлению его свободного движения в поле, а напряжение — как энергия, сообщаемая полем на отрезке пути движущемуся в нем единичному заряду. Следовательно, в основных, первичных понятиях проект определений совершенно неудачен. Можно и сказать, что проект уводит в сторону от истинной сути и противоречит материалистическому пониманию электрического и магнитизма. Проект не может быть даже взят за основу для дальнейшей разработки. Разработку надо начинать с начала.

К сожалению, приходится признать, что недавняя философская дискуссия и блестящее выступление товарища Жданова, а также решения Партии по идеологическим вопросам, никак не повлияли на философские позиции группы ленинградских электриков.

(Продолжение дискуссии следует)



Заметки и письма

Технические термины должны быть точными

Новые типы электрических машин — электромашинные усилители — получили широкое распространение. Несколько видов таких усилителей известны в литературе под названиями «амплидин», «рототрол» и «регулекс». Эти термины не отражают основные особенности машин. Например, термин «амплидин», образованный из начальных букв слова *amplifier* (усилитель) и *дипано* (генератор), не содержит указаний на отличие амплидина от других электромашинных усилителей. Замена этой условной терминологии более обоснованной была бы весьма целесообразна. Можно предложить следующие названия, исходя из основных особенностей каждой машины:

1. Для электромашинных усилителей с возбуждением по продольной и поперечной магнитным осям (типа «амплидин») ввести название — *усилитель с продольно-поперечным возбуждением*.

2. Усилители типа рототрол характеризуются наличием обмоток независимого возбуждения и самовозбуждения, являясь машинами с комбинированным возбуждением. Их можно назвать — *усилители с комбинированным возбуждением*.

3. Усилители типа «регулекс» входят в класс схемы возбуждения (квадратичные и кубические) и характеризуются сильно насыщенной магнитной цепью. В соответствии с этой особенностью целесообразно дать им название — *усилители с насыщенной магнитной цепью*.

Предлагаемая замена — только один из возможных вариантов для обсуждения на страницах журнала.

Кандидат техн. наук, доц. О. И. ЗОЛОВА



Опыт творческого содружества ученых и производственников

Полгода тому назад, 2 апреля 1949 г. на собрании представителей ленинградских предприятий, научно-исследовательских и учебных институтов было принято обращение к товарищу Сталину по вопросу об организации содружества работников науки и производства.

Патриотическая инициатива ленинградцев вызвала горячий отклик во всей стране. Новое движение за тесную связь науки и производства во имя быстрее и успешного решения задач технического прогресса охватило за истекшее время почти все коллективы промышленных предприятий, исследовательских организаций и высших технических учебных заведений СССР. Опыт творческого содружества ученых и работников производства свидетельствует о том, что оно приносит народному хозяйству свои первые реальные результаты.

Конкретные обязательства коллектива Московского энергетического института им. Молотова об оказании помощи промышленности уже претворяются в жизнь. На Московском заводе электроприборов силами кафедры электроприборостроения (проф. А. В. Талицкий и инж. Р. М. Демидова) было введено в действие в цехах завода устройство для массового контроля катушек электромагнитных приборов. Заводу КЭМЗ была оказана помощь (инж. В. Т. Прытков) в наладке поверочных устройств для испытания измерительных трансформаторов тока. Производится наблюдение (инж. С. В. Алексеев) за испытанием прибора «Диспетчерский рапорт» в теплосети Мосэнерго. Лаборатория кафедры промышленной электроники (проф. И. Л. Каганов) сформовала и испытала новый тип ртутного вентиля для шахт Подмосквового угодного бассейна. Кафедрой светотехники разработаны чертежи и технология изготовления светосигнальных приборов по речной обстановке. Заводам «Серп и молот» и «Пржекторный» рекомендованы рационализаторские мероприятия по улучшению производственного электрического освещения. По просьбе Министерства лесной и бумажной промышленности представитель МЭИ (инж. И. И. Пеккер) оказал содействие строителям теплоэлектроцентрали Каменской бумажной фабрики в наладке приводов экспансионных выключателей. Одному из заводов Министерства электропромышленности было заказано изготовление специальной установки; однако в существующей технической литературе до последнего времени не было теории расчета такой установки; представитель кафедры высокого напряжения (инж. Л. Ф. Дмоховская) выполнила для завода необходимые расчеты.

Таких примеров из практики десятков вузов и научно-исследовательских институтов страны можно привести сотни и тысячи. Коллектив Всесоюзного научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ) принял обязательства: по оказанию помощи МТС ряда областей в освоении электрических тракторов, по участию в электрификации животноводческих ферм колхозов, обслуживаемых Каширской МТС, по научно-технической помощи Бавленскому электромеханическому заводу Министерства совхозов для выпуска заводом высококачественных генераторов и двигателей для нужд сельского хозяйства и т. д.

Опыт проводимого содружества работников науки и производства подтверждает не только великое значение объединения науки и практики и ценность приближения

деятельности ученых к конкретным, практическим запросам жизни, но также подтверждает и благотворное влияние новаторской деятельности стахановцев и передовых рабочих, оказываемое на исследовательскую и научную работу ученых. Товарищ Сталин указывает, что новые пути науки и техники прокладывают иногда не общеизвестные в науке люди, а совершенно не известные в научном мире люди, простые люди, практики, новаторы дела. На Московском электроламповом заводе комсомольско-молодежная бригада В. Хрисановой результатами внедрения на производстве часового графика существенно поправила принятые до того в науке об организации производства положения; ценный вклад в науку рядового бригадира В. Хрисановой вызвал новое направление в теоретических построениях и исследованиях людей науки, работающих в области организации производства.

О серьезном значении тесного содружества научных и производственных коллективов говорят факты огромной заинтересованности, проявляемой к новому движению со стороны руководящих работников промышленности. На совещании по подготовке к заводской технической конференции с участием ученых директор завода «Электросила» — одного из крупнейших электротехнических предприятий страны — Г. Я. Мухин, отметив, что завод «Электросила» всегда имел связь с передовой наукой и что в составе консультантов завода имеются крупные специалисты электропромышленности, подчеркнул, что для создания заводом новых сверхмощных электрических машин, новых гидро- и турбогенераторов потребуются исследование целого комплекса теоретических вопросов (разработка методов расчета ряда режимов электрических машин и аппаратов в эксплуатации, методов изолирования высоковольтных машин, проведение исследовательской работы по вентиляции и смазке в электрических машинах; по вибрации машин, по теории дуги в приложении к аппаратуре, по теоретическим вопросам электропривода и т. д.). Целью заводской конференции о участии ученых было ознакомление их с перспективными планами развития завода «Электросила» в области электромашиностроения и электроаппаратостроения для уточнения тех вопросов, по которым работники науки смогут оказать помощь заводу в освоении новой техники.

В работе конференции завода «Электросила» с деятелями науки приняло участие свыше 500 чел., в том числе: 2 члена-корреспондента Академии наук СССР, 24 профессора, 56 кандидатов технических наук, 72 научных работника Москвы и Ленинграда, рабочие-новаторы производства и др.

После вводных выступлений директора завода Г. Я. Мухина, главного инженера завода, кандидата техн. наук Е. Г. Комара, председателя ЛОСНИТО, проф. С. И. Кузьмина, развернутый доклад «Задачи новой техники на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова» сделал консультант завода кандидат техн. наук Е. Я. Казовский. Затем состоялись доклады: инж. А. С. Еремеева «Вопросы теории и проектирования электрических машин», инж. А. В. Мозалевского «Вопросы теории и проектирования аппаратуры и электропривода», инж. Ф. Г. Железникова «Изоляция, лакообразование, пластмассы», инж. Г. К. Жерве «Испы-

тание электрических машин и аппаратов», инж. А. А. Александрова «Экономия электроэнергии» и др.

Отдельные стороны деятельности завода были подвергнуты учеными серьезной критике и были указаны рациональные пути устранения вскрытых недостатков. В результате конференции были пересмотрены тематический план завода на 1949 г. и перспективный план развития новой техники с учетом большого количества ценных рекомендаций, внесенных на конференцию. Широкий обмен мнениями, состоявшийся на конференции, принес большую пользу и заводскому персоналу и ученым. В качестве организационного дефекта этой конференции следует отметить недостаточное участие в ней рабочих-новаторов производства. Это объясняется, по-видимому, слабой разносторонней работой в цехах в период подготовки конференции и недостаточным оказанием техническим персоналом завода товарищеской помощи рабочим в подготовке к выступлениям.

В резолюции конференции, в частности, предусмотрено: что помощь научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений по исследованию новых конструкций должна осуществляться таким образом, чтобы обеспечить полное внедрение новых разработок в производство и проектные работы, что необходимо усилить связь с аппаратными лабораториями Ленинградского политехнического института им. Калинина и Ленинградского электротехнического института им. Ульянова (Ленина), выполняющими в настоящее время ряд научно-исследовательских работ по аппаратуре; что при проектировании новых серий турбогенераторов должны быть учтены все замечания Министерства электростанций СССР о дефектах в старой серии Т-2 и что на основе испытаний и опытных данных МЭС следует уточнить вопросы: самосинхронизации синхронных генераторов, асинхронных режимов их работы, несимметричных нагрузок и сушки генераторов в неподвижном состоянии; что проведение исследования трехкаскадного электромагнитного усилителя с продольным возбуждением будет осуществлено кафедрой электрических машин МЭИ им. Молотова; что на заводе должна получить более широкое применение автоматическая

сварка закрытой дугой; что перед научно-исследовательскими организациями должен быть поставлен вопрос о конструировании специального автоматического прибора — щупа для замера зазора в электрических машинах; что в ЛПИ им. Калинина будет исследован комплекс вопросов влагостойкости изоляции, полупроводящих покрытий и компаундировки изоляции, а в Ленинградском государственном университете им. Жданова — вопросы исследования физических свойств изоляционных материалов.

Начало творческого содружества коллектива другого ленинградского завода — «Электроаппарат» относится еще к 1946 г. Завод совместно с ЛПИ им. Калинина участвовал в сооружении колебательного контура для испытания высоковольтных коммутационных аппаратов на отключающую способность (по схеме проф. А. А. Горева). В 1948 г. Эта работа была удостоена Сталинской премии второй степени. Проф. А. М. Залесский (ЛПИ) принимает непосредственное участие в разрешении на заводе всех вопросов изоляции высоковольтной аппаратуры; им, в частности, была спроектирована новая серия облегченных аппаратных изоляторов наружной установки на 6 и 10 кВ; эта серия внедрена заводом в производство. Постоянную связь с заводом поддерживает ряд научных работников ЛПИ: кандидат техн. наук, доц. Г. А. Кукеков, кандидат техн. наук В. Ю. Гессен, кандидат техн. наук В. В. Каплан и др.

Ленинградский электротехнический институт им. Ульянова (Ленина) выполнил для завода «Электроаппарат» целый ряд работ: по методике расчета и исследования высоковольтных силовых предохранителей (доц. Г. Г. Швец); по исследованию макетов разъединителей наружной установки на 110, 154 и 220 кВ и др.

Опыт первых месяцев развития творческого содружества работников науки и производства в области электротехники показывает бесспорные возможности дальнейшего расширения этой формы связи научных коллективов с предприятиями. Задача состоит в том, чтобы этот живой и ценный опыт нашел достойное подражание со стороны всех научных электротехнических организаций, со стороны всех предприятий электропромышленности и всех энергосистем Советского Союза.

Д. Р.



Белорусская конференция энергетиков

В апреле 1949 г. в г. Минске состоялась Белорусская республиканская конференция энергетиков, организованная Белорусским отделением Всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетиков БелНИТОЭ и Энергосбытом Белорусэнерго.

Для участия в работе конференции прибыли делегаты и гости из различных городов БССР: Минска, Бобруйска, Бреста, Витебска, Гомеля, Мозыря и др. В работе конференции приняли участие председатель Совета Министров БССР — А. Е. Клещев, заместитель председателя Совета Министров БССР — П. А. Абрамимов и работники ИК КП(б) Белоруссии — Ф. Д. Филимонов и И. П. Бугров.

Конференция вызвала большой интерес у энергетической общественности республики; в ее работе приняло участие свыше 200 инженеров, техников, стахановцев-энергетиков крупных предприятий и электростанций, работники Академии наук БССР и Белорусского политехнического института им. Сталина. Среди участников конференции было 75 делегатов от 25 первичных организаций Белорусского отделения ВНИТОЭ, охватывающих 460 членов общества.

Конференция заслушала 10 докладов, обсудила работу Оргбюро БелНИТОЭ и выбрала правление и ревизионную комиссию Белорусского отделения ВНИТОЭ.

С вступительным словом и докладом «Развитие

энергетики БССР» выступил председатель Оргбюро БелНИТОЭ кандидат техн. наук, доц. А. И. Рущий (БПИ), который отметил, что до 1917 г. энергетика БССР была ничтожна и была представлена в основном мелкими дизельными и локомотивными установками. После Великой Октябрьской социалистической революции началось быстрое развитие энергетики Белорусской ССР. Уже к началу первой пятилетки суммарная установленная мощность в 2,7 раза превышала дореволюционную. В годы сталинских пятилеток развитие энергетики республики пошло гигантскими шагами: в 1940 г. мощность электростанций в 24 раза превышала мощность 1913 г., а электроэнергия было выработано в 121 раз больше. Разрушенная фашистскими ордами энергетическая база республики полностью восстановлена, притом на базе новой, современной техники, а к концу первой послевоенной Сталинской пятилетки общая мощность электрических станций БССР будет в 2,2 раза превышать довоенную.

Выступивший в качестве содокладчика главный инженер Белорусэнерго М. Е. Барабанов рассказал о восстановлении и развитии электрических станций и сетей системы Белорусэнерго. Второй содокладчик главный инженер Главэнергоуправления при Совете Министров БССР Г. Б. Пекелис остановился на технических задачах проектирования и строительства новых электростанций.

Доктор техн. наук, проф. Г. И. Атабеков выступил с докладом «Новые отечественные разработки в области релейной защиты», в котором, в частности, привел некоторые примеры новых достижений в релейной технике: высокочувствительные реле без подвижных частей, безинерционные реле направления мощности, новые разработки в области дифференциальной защиты трансформаторов и высокочастотной дифференциальнофазной защиты линий передач.

С докладами, посвященными вопросу экономии топлива на электростанциях и в энергетических установках промышленных предприятий, выступили: кандидат техн. наук, доц. Г. И. Добкин (БПИ) и кандидат техн. наук, юн. И. Л. Любощиц.

Кандидат техн. наук, доц. Ю. В. Варанкин свой доклад посвятил вопросу внедрения фрезерного торфа в

котельные установки малой и средней мощности. Торф является основным видом топлива БССР, поэтому применение фрезерного торфа, который в $2 \div 2,5$ раза дешевле кускового, даст значительную экономию средств.

Управляющий Белорусэнерго Я. Е. Ботвинник выступил с докладом «Цеховой хозяйственный расчет на электростанциях».

По всем прослушанным докладам развернулись оживленные прения. Многие выступления были посвящены развитию сельской электрификации Белорусской ССР и ее основной базы — малых гидроэлектростанций.

Участники конференции обратились к И. В. Сталину с письмом, в котором заверяют, что возложенные на энергетиков БССР задачи будут выполнены.

Кандидат техн. наук В. В. МОТОВИЛОВ



В Киевском межобластном отделении ВНИТОЭ

По итогам социалистического соревнования отделений ВНИТОЭ за 1948 г. Киевскому межобластному отделению присуждена первая премия и переходящее Красное Знамя. В третий раз Киевский филиал добивается победы во Всесоюзном соревновании.

Успеху киевлян способствовали: 1) массовое вовлечение членов общества в творческую, научно-техническую деятельность и оказание им необходимой организационной и научно-технической помощи для повышения квалификации и расширения политического кругозора; 2) проведение массовых мероприятий по укреплению творческого содружества работников науки и производства, направленного на внедрение новой техники; 3) помощь новаторам и рационализаторам производства.

Первое полугодие 1949 г. характеризуется дальнейшим развертыванием массовых мероприятий и укреплением творческого содружества работников науки и производства.

Число членов КОНИТОЭ приближается к 700 чел. Увеличивается также число юридических членов.

Более 200 чел. обучаются в различных семинарах по вопросам новой техники. Около 40 членов КОНИТОЭ — ведущих инженеров-производственников — организовано готовятся к сдаче кандидатского минимума.

За 6 мес. т. г. на секциях и в первичных организациях КОНИТОЭ было заслушано около 100 докладов на политические, экономические, технические и производственные темы с охватом почти 4 000 слушателей.

В результате общественного смотра, проведенного КОНИТОЭ по вопросу о направлении деятельности институтов электротехники и теплоэнергетики Академии наук УССР, был внесен ряд предложений о пополнении тематики институтов актуальными темами (вопросы регулирования скорости короткозамкнутых асинхронных двигателей, усовершенствование конструкций автоматических регуляторов скорости гидротурбин для сельских электростанций, методы рационального сжигания местных топлив и др.). Институту электротехники Академии наук УССР было рекомендовано: 1) организовать широкое внедрение в коммунальную и сельскую энергетику разработанных институтом устройств по компаундированию синхронных генераторов и автоматическому регулированию напряжения; 2) ускорить применение на сельских гидростанциях разработанного институтом автоматического регулятора скорости малых гидротурбин и др.

В организованной КОНИТОЭ дискуссии на тему «Пути планомерного внедрения передовой техники в народное хозяйство» приняли участие представители Института электротехники Академии наук УССР, Киевского политехнического института, Института пищевой промышленности им. Микояна, Технологического института легкой промышленности,

инженеры-производственники и рационализаторы Киевэнерго, Киевпромэнергомонтажа, Южэлектромонтажа, Теплосети, Главэнерго и Оргкомунэнерго.

Выступления в прениях по докладу председателя комитета КОНИТОЭ по научно-технической пропаганде, действительного члена Академии наук УССР А. С. Лебедева вскрыли ряд недостатков, мешавших внедрению новой техники на киевских энергопредприятиях; в частности, было указано на недостаточную связь научно-исследовательских институтов с предприятиями, на проявления бюрократического отношения к рационализаторам и новаторам производства и др.

Совещание обратилось к правлению ВНИТОЭ с предложением об организации ежегодного конкурса на лучшие результаты внедрения предложений по экономии тепловой и электрической энергии, премированных на всесоюзных конкурсах.

Общественный просмотр учебных планов электротехнического факультета Киевского Ордена Ленина политехнического института привлек внимание значительного количества членов общества. В докладе заместителя декана электрофакультета доц. А. И. Вишневецкого были поставлены на обсуждение четыре принципиальных вопроса: 1) целесообразность введения одногодичного производственного стажа до выполнения дипломного проекта; 2) организация при институте специальных конференций—курсов для повышения квалификации инженеров-электриков, спустя 5—10 лет их практической деятельности; 3) количество и сроки учебных производственных практик для студентов; 4) оптимальное соотношение между общеобразовательными и специальными дисциплинами в учебных планах факультета.

В результате был одобрен 5,5 летний срок обучения и были приняты рекомендации: 1) об увеличении продолжительности преддипломной практики; 2) о мерах по разгрузке учебного плана (ряд курсов, как, например, «Эксплуатация ЦЭС» и др., читать факультативно, совмещая их с учебной практикой и привлекая для этой цели опытных инженеров-производственников, работающих на местах прохождения практики); 3) о проведении при институте периодических конференций-курсов с целью переподготовки инженеров и др.

Учитывая наличие в г. Киеве многочисленных средних и мелких электромонтажных заводов и мастерских, производящих ремонт электродвигателей и трансформаторов, и большое хозяйственное значение их деятельности для промышленности и сельского хозяйства области, секция промэлектротехники КОНИТОЭ совместно с кафедрой электромашин Киевского политехнического института организовала *общественный смотр состояния техники и технологии ремонта электромашин*. Активисты секции и работники кафедры ознакомились с состоянием

ремонта на 12 электроремонтных предприятиях города и собрали ценный материал, обобщенный в докладе председателя Оргкомитета смотра доц. А. П. Репетина.

Совещание также заслушало доклад инж. Г. Н. Блазевича «О современной технологии ремонта электромашин». В совещании по итогам смотра приняли участие рабочие-стахановцы электроремонтных предприятий, представители института и заинтересованных ведомственных организаций. В результате смотра было выявлено, что не на всех предприятиях соблюдается нормальная технология ремонта. Установлены случаи неправильной дефектации, применения недоброкачественной изоляции и использование недопустимыми для ремонта электромашин лаками; установлено несоблюдение требований к пропитке и просушке изоляции, игнорирование нормальной программы испытаний отремонтированных машин и т. д. Смотров также выявил чрезмерную стоимость ремонта электродвигателей.

Большинство выступавших, анализируя причины недостатков в деле ремонта электромашин, считали выходом из создавшегося положения—организацию централизованного электроремонтного завода. При секции промышленности КНИТОЭ и кафедре электромашин КПИ было решено организовать постоянную консультацию по ремонту электромашин и курсы по повышению квалификации и подготовке кадров для ремонта электромашин. Было решено обратиться в Министерство высшего образования СССР с предложением о введении в институтах небольшого курса по технологии ремонта электромашин.

Недавно были закончены *общественные просмотры издательской работы* (в части энергетической литерату-

ры): Гостехиздата УССР и др. Рекомендации были переданы соответствующим организациям.

Следует отметить плодотворные результаты сотрудничества научных работников Института электротехники Академии наук УССР и киевских инженеров-электриков. Институт электротехники совместно с КНИТОЭ организовал два *тематических совещания по внедрению в промышленность законченных научных разработок и рекомендаций по автоматике*. Решениями этих совещаний были предусмотрены конкретные мероприятия по разработке и внедрению в Киевской энергосистеме приборов регистрации частоты; по наладке компаундирования двух генераторов на киевский гэс-II и гэс-III; по внедрению в кольцо 35 кВ высокочастотной защиты; по внедрению системы компаундирования маломощных синхронных генераторов с электромагнитным корректором напряжения на сельских электростанциях, имеющей большое значение для внедрения электропривода в сельскохозяйственное производство; по внедрению на коммунальных электростанциях простой и надежной земляной защиты генераторов; по внедрению электромеханического регулятора скорости на сельских гидроэлектростанциях и др.

Перед научными, инженерно-техническими обществами стоят большие задачи по дальнейшему разрыванию социалистического соревнования членов НИТО. 6 июня с.г. Всесоюзный совет научных инженерно-технических обществ присудил по результатам соревнования научно-технических обществ СССР за 1948 г. Киевскому отделению ВНИТОЭ третью премию. Можно выразить уверенность, что электротехники и энергетики — киевляне — и впредь будут в первых рядах инженерной общественности.

Инж. А. А. ЗАЙКО



Уральская научно-техническая сессия по электрической изоляции

С 10 по 13 марта 1949 г. в Свердловске проходила первая Уральская научно-техническая сессия по электрической изоляции и защите от перенапряжений, созданная Свердловским отделением ВНИТОЭ совместно с Главуралэнерго.

В работе сессии приняли участие 233 специалиста из 50 городов и промышленных центров Урала — работники энергосистем, промышленных и транспортных предприятий, научно-исследовательских институтов и вузов. На пленарных заседаниях сессии было заслушано 30 докладов и сообщений.

Зав. кафедрой физики Уральского политехнического института кандидат физ.-матем. наук А. К. Кикоин выступил с докладом «Современное состояние науки об электрической изоляции».

Заместитель председателя Всесоюзного бюро электрической изоляции инж. М. И. Раппопорт (Москва) сделал доклад: «Современные тенденции в методике профилактических испытаний электрооборудования» и «Основные задачи эксплуатации изоляции».

Были заслушаны также доклады инж. Я. С. Колина «Эффективность профилактических испытаний высоковольтного оборудования в энергосистемах Урала»; кандидата техн. наук Э. П. Страшнина «Вопросы старения изоляции электрических машин» и «Увлажнение изоляции электрических машин в зимних условиях на электрифицированном транспорте», инж. В. В. Пучковского «Абсорбционные характеристики изоляции электрических машин, получаемые методом саморазряда» и «Применение индикатора частичных разрядов для контроля изоляции маслянополненных вводов 110 ÷ 35-кВ и кабелей»; инж. Е. И. Гамзагурди

«Упрощенные методы профилактических испытаний и контроля изоляции в условиях промышленных предприятий»; инж. А. П. Карамзина «Анализ характерных повреждений изоляции» и инж. Х. Н. Горелика «Опыт длительной эксплуатации бакелитовой изоляции».

Работники крупной электростанции, сетевого района и промышленного предприятия — инженеры В. С. Титов, Н. И. Бабушкина и Ю. П. Бородин выступили с сообщениями на тему «Опыт работы по профилактическим испытаниям и контролю изоляции электрооборудования». Инж. В. З. Иванов сделал сообщение о новых электроизоляционных материалах.

Представители уральских заводов — инженеры Г. А. Паверман, Ф. Т. Сухоруков, Б. В. Тогатов и Б. М. Магин выступили с сообщениями на тему «Производство электроизоляционных материалов и конструкций» (технология, контроль качества, виды испытаний, изготовление и внедрение новых материалов, освоение новых технологических процессов).

С докладами и сообщениями по вопросам защиты от перенапряжений выступили: кандидат техн. наук Е. В. Калинин, инж. Я. С. Колин, инж. Н. А. Мезенцев, инж. А. П. Карамзин, инж. А. И. Сапожников, инженеры Л. З. Хмельницкий и Б. В. Кантор, инж. В. З. Иванов.

Инж. Б. В. Карпов (Москва) выступил с информационным сообщением об изготовляемой аппаратуре для испытаний и контроля изоляции.

Сессия приняла решения по отдельным вопросам и избрала постоянный состав Уральской группы Всесоюзного бюро электрической изоляции.

К.



Научно-техническая сессия Азербайджанского индустриального института им. Азизбекова

В конце апреля 1949 г. состоялась научно-техническая сессия института, посвященная двадцать девятой годовщине установления Советской власти в Азербайджане.

На заседании электротехнической секции проф. З. Б. Эльясевич в обзорном докладе «Применение электрических методов к исследованию технологических процессов в нефтяной промышленности» осветил работу кафедры общей и теоретической электротехники по созданию и внедрению в промышленности новых методов исследования и конструкций контрольно-измерительных устройств. Доклады доц. А. А. Спирина «Роль отечественных ученых в развитии высоковольтной техники» и доц. П. А. Рустам-Заде «Роль отечественных ученых в повышении устойчивости энергосистем» осветили большой и чрезвычайно интересный материал, характеризующий работу отечественных ученых. Доц. Б. М. Плющ в докладе «Электропривод центробежных насосов для перекачки нефти» указал на целесообразность поддержания постоянного наибольшего давления в трубопроводе, необходимого для обеспечения максимального годового количества перекаченной жидкости, с помощью регулируемого электропривода—каскада асинхронного двигателя с периодопреобразователем.

Проблемам выбора электропривода для нефтяной промышленности были посвящены также доклады: инж. Г. М. Сафарова «Применение синхронных двигателей в качестве привода компрессоров на нефтяных промыслах», инж. В. И. Саркисова «Электропривод станков-качалок». В докладе «О выборе напряжения сетей до 1 кВ для нефтяных промыслов» доц. М. А. Эсбиян приходит к выводу, что для этих сетей должно быть принято единое (как для буровых двигателей, так и для двигателей станков-качалок) напряжение в 660 в и в переходный период двигатели и трансформаторы должны заказываться на 660/380 в. Напряжение 660 в должно быть введено как общесоюзный стандарт.

Проф. Б. П. Альбицкий сделал доклад «Поведение релейной защиты при работе элемен-

тов системы на двух фазах»; инж. Д. Б. Бадалбейли—«О компенсации емкостных токов сети 20—35 кВ энергетической системы» доц. П. А. Баскутис—«К вопросу о параллельной работе цепей прямого и переменного токов», Ф. Г. Гусейнов—«Самовозбуждение синхронных машин». В докладе Э. Б. Ахундова «Распределение активных нагрузок на тепловых электростанциях и системах» был предложен способ непосредственного замера величины относительного прироста нагрузки агрегатов и дана характеристика предложенного вторым прибором. Доц. А. А. Спирин представил доклад «Новые методы измерения диэлектрических потерь в высоковольтной изоляции», доц. В. С. Кальман—«Катодная защита магистральной нефтепровода от коррозии».

Были также заслушаны доклады: кандидата техн. наук С. Я. Литвинова «Сопrotивление заземления линейного электрода, обладающего конечным сопротивлением», кандидата техн. наук А. М. Мелик-Шахназарова—«О приборах для исследования технологических процессов в нефтяной промышленности», И. А. Ибрагимова—«Исследование работы автоматического электронного потенциометра», А. Г. Мамиконова—«Условия работы магнитоэлектрических приборов в схеме автоматического потенциометра для кароттажа нефтяных скважин» и Г. А. Али-Заде—«Измерение электрической емкости изоляции на постоянном токе».

Результаты подавляющей части выполненных научно-исследовательских работ проверены и использованы в производстве или находятся в стадии экспериментальной проверки.

В резолюциях сессии отмечается необходимость дальнейшего укрепления научно-технической связи с производством, в особенности—с нефтяной промышленностью.

Кандидат техн. наук Н. А. ЦЕКУН



О ЗОЛОТОЙ МЕДАЛИ имени А. С. ПОПОВА

Президиум Академии наук СССР объявляет о конкурсе на соискание золотой медали имени А. С. Попова, присуждаемой за выдающиеся научные работы и изобретения в области радио.

Право на соискание медали им. А. С. Попова имеют как советские, так и зарубежные ученые.

Работы, законченные в 1949 г., могут представляться научными обществами, научно-исследовательскими институтами, высшими учебными заведениями, ведомствами, общественными организациями и отдельными гражданами на любом языке в 3-х экземплярах, напечатанных на пишущей машинке или типографским способом.

К работе должны быть приложены отзывы организаций, представляющих работу на соискание медали, о научной ценности и значении работы для развития радио и краткие биографические сведения об авторе с перечнем его основных научных работ и изобретений.

Срок представления работ—не позже 1 февраля 1950 г.

Работы с надписью «На соискание золотой медали имени А. С. Попова» направлять в Совет по радиофизике и радиотехнике Академии наук СССР—г. Москва, 3-я Миусская ул., д. 3.

Справки по телефону Д 1-03-68.

Президиум Академии наук СССР

Л. А. СЕНА. СТОЛКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ И ИОНОВ С АТОМАМИ ГАЗА. (Серия „Современные проблемы физики“, под общей редакцией С. И. Вавилова, А. Ф. Иоффе, П. И. Лукирского, В. А. Фока и Я. И. Френкеля). 215 стр., ц 7 р. 50 к. Гостехиздат, 1948.

Электрические явления в газах—газовые разряды различных видов—обуславливают многообразные свойства электронных и ионных приборов, широко используемых современной техникой. Основное звено этих процессов—«столкновения» или, точнее, взаимодействия электронов и ионов с нейтральными и возбужденными атомами и молекулами газа, а также между собой. Поэтому тема рецензируемой книги актуальна как с точки зрения физики прохождения электрического тока через газы и вакуум, так и в техническом отношении. Автор книги—Л. А. Сена, ученик одного из выдающихся русских физиков в данной области—Д. А. Рожанского, в течение многих лет работает экспериментально и теоретически по изложенным в книге вопросам и является в них специалистом высокой квалификации. Это обстоятельство определило большие научные достоинства книги, стоящей по новизне изложения на высоте современности.

Книга представляет собой монографию, охватывающую определенный цикл вопросов, а именно вопросы, относящиеся к представлению об эффективном поперечном сечении атома для различных процессов взаимодействия с электронами и ионами. В книге обрисованы имеющиеся теории, современное состояние соответствующей экспериментальной техники и результаты измерений, дана основательная критика отдельных теорий и экспериментов и изложены те новые точки зрения, которые предложены автором или в значительной мере проработаны и продвинуты им.

Благодаря концентрации внимания автора на вопросах эффективного поперечного сечения заглавие книги шире ее содержания. Более правильно было бы название «Эффективные поперечные сечения атомов газа при столкновении с ними электронов и ионов».

В первой главе «Количественные характеристики элементарных процессов» даются некоторые вводимые автором новые определения. С этими определениями и с предлагаемой автором классификацией процессов «столкновений» в основном можно согласиться. Следовало бы только полными словами указать соотношение между новыми терминами: «прямые неупругие процессы» и «обратные неупругие процессы» и привычными широко распространенными терминами: неупругие соударения I рода и неупругие соударения II рода. Далее, в той же главе на основе законов сохранения энергии и импульса в приложении к явлениям взаимодействия частиц приводится вывод соотношения, позволяющего найти максимальные углы отклонения «налетающей» при столкновении частицы от первоначального направления ее движения для различных соотношений масс взаимодействующих частиц. В последних параграфах первой главы ставятся принципиальные вопросы о законности широко распространенных упрощенных представлений о «длине свободного пути» и об «эффективном поперечном сечении».

Во второй главе изложены принципиальные основы экспериментальной методики определения эффективного поперечного сечения, в третьей—основные элементы техники эксперимента. В четвертой главе подробно разбирается вопрос об эффективном поперечном сечении при неупругих столкновениях электронов с атомами. Пятая глава посвящена рассеянию электронного пучка атомами, зависимости эффективного поперечного сечения, а следовательно, и длины свободного пути от скорости «налетающих» электронов и «подвижности» электронов. В отношении последнего вопроса автор приходит к скептическому выводу, что «при

настоящем состоянии вопроса является, пожалуй, целесообразным вывернуть его, так сказать, наизнанку», т. е. рассматривать экспериментальные данные для подвижности, получаемые из диффузионных опытов и из зондовых измерений, как исходные данные для определения длины свободного пути l и средней потери энергии электронами при столкновениях f , а не производить какие-либо подсчеты разрядных явлений, исходя из теории подвижности электронов и из имеющихся данных для l и f .

Последняя—шестая—глава «Столкновения ионов и атомов» представляет собой наиболее обширную главу книги; ее объем—64 страницы, в то время как остальным пяти главам отведено 136 страниц. Эта глава содержит изложение вопросов, наиболее близких к научным интересам автора. В этих вопросах он высказал новую оригинальную точку зрения, в настоящее время в значительной мере подтвержденную экспериментом. Речь идет об особом характере взаимодействия положительных ионов с нейтральными частицами газа, приводящем и к особому характеру движения положительных ионов в разряде. По представлениям и расчетам автора основным процессом взаимодействия положительных ионов с нейтральными частицами газа является процесс «перезарядки», т. е. процесс обмена электроном между атомом и ионом. Вероятность такого процесса по подсчетам автора много больше, чем вероятность упругого соударения. В результате в плазме газового разряда ионы, образованные при неупругих соударениях электронов, теряют свой заряд еще до того, как они успевают совершить упругое столкновение с частицей газа. При перезарядке нейтральная частица превращается в положительный ион, который движется в направлении градиента разрядного поля до следующего акта перезарядки. Таким образом, движение положительных ионов в плазме оказывается в значительной мере упорядоченным по направлению и скорости. Среднюю скорость продвижения ионов в поле разряда можно подсчитать. Результаты таких подсчетов хорошо совпадают с экспериментальными значениями скоростей положительных ионов по направлению оси разрядной трубки и перпендикулярно ее направлению, определенных недавно оптическим путем по смещению спектральных линий, излучаемых возбужденными ионами. Трудно, конечно, сказать, как далеко приведут эти новые представления при расшифровке характера движения положительных ионов в газовом разряде и какие дополнения неизбежно должно вносить в новую картину беспорядочное тепловое движение, но при этой оговорке шаг, совершенный автором книги, очень важен и интересен и сулит много нового для теории газового разряда.

Сказанного достаточно для того, чтобы оценить достоинства книги: они большие. Но книга Л. А. Сены лишена и недостатков. Первый из них является существенным и значительно умаляет ценность книги. В рецензируемой книге не изжиты остатки преклонения перед западной наукой и пренебрежение работами советских ученых. Автор заслуживает серьезного упрека за то, что, указывая в § 32 на работы лаборатории Тиндала, установившие ход изменения подвижности положительных ионов с напряженностью поля при больших значениях последней, он совершенно не упоминает о выполненной в Московском университете работе Балого, показавшего, что аналогичный ход имеет место и для отрицательных ионов. Не упомянуты также и работы Б. И. Клярфельда (ВЭИ), имеющие близкое отношение к вопросу о дви-

жения электронов и ионов в плазме (учет изменения эффективного поперечного сечения атомов в зависимости от скорости электронов и др.). Но особенно непростижительно то, что, трактуя на протяжении всей книги вопрос о взаимодействии частиц газа и делая определенный упор на различие между близкими и дальними взаимодействиями не только в отношении перезарядки, но и в других случаях, автор ни разу не упоминает об опубликованной еще в 1938 г. и с тех пор успешно развиваемой далее теории плазмы А. А. Власова, указавшего существенную роль дальних взаимодействий. Можно не соглашаться с авторами новых теорий и, не покидая почвы здоровой научной полемики, оспаривать их исходные положения, методы и выводы, можно, наконец, в случае несогласия ограничиться краткой критикой на протяжении нескольких строчек, но совершенно недопустимо в такой серьезной монографии, претендующей на полное освещение данной области, какой является рецензируемая книга, полностью игнорировать и замалчивать работу советского ученого, указавшего на новый возможный путь решения задачи о поведении заряженных частиц в плазме — путь, приведший к определенным результатам не только в его личных последующих работах,

но и в работах других лиц (Боголюбов в СССР, Борн за рубежом).

Издана рецензируемая книга не плохо. Автору и издательству все же не удалось избежать некоторых весьма досадных опечаток или описок. Так, например, на стр. 172 напечатано: «сечение упругого расстояния» вместо «сечение упругого рассеяния». Как положительное нововведение можно указать на применяемый автором термин «монокинетизация» пучка электронов вместо обычно применяемого несколько натянутого «монокристаллизация».

Резюмируя вышеизложенное, скажем, что в рецензируемой книге читатель найдет много не только полезного и ценного, но и нового, но не найдет полного изложения отечественных работ в данной области. Если бы не этот крупный недостаток, то можно было бы признать монографию Л. А. Сена очень хорошей книгой. Указанный пробел не позволяет этого сделать.

Доктор физ.-матем. наук, проф. Н. А. КАПЦОВ

*Московский государственный университет
им. Ломоносова*



С. А. УЛЬЯНОВ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ Издание 3-е, заново переработанное. 320 стр., ц. 13 р. 80 к. Госэнергоиздат, 1949.

Книга составлена как учебник по курсу «Токи короткого замыкания и токи в земле» для специальностей «Электрические станции, сети и системы» и «Электроснабжение» энергетических и электротехнических институтов (утверждения книги в качестве учебника было получено издательством после выхода ее в свет и потому соответствующий гриф на книге отсутствует). Книгой охватывается материал большей части первых двух разделов утвержденной Министерством высшего образования СССР программы указанного курса: I. Общие сведения и II. Токи короткого замыкания. Материал книги разбит на шесть глав:

- I. Общие сведения о коротких замыканиях (13 страниц).
- II. Общие указания к выполнению расчетов режима короткого замыкания (27 страниц).
- III. Установившийся режим трехфазного короткого замыкания (34 страницы).
- IV. Нестационарный процесс трехфазного короткого замыкания (61 страница).
- V. Практические методы расчета нестационарного процесса трехфазного короткого замыкания (58 страниц).
- VI. Несимметричные короткие замыкания (93 страницы).

Книга в третьем издании заметно отличается от первых двух изданий (1937 г. и 1941 г.). Несколько сокращена глава I. Более систематично изложена глава II. Переработана глава III, в которой дополнительно рассмотрен графический метод подсчета режима установившегося к. з. для случая, когда генератор снабжен автоматическим регулятором напряжения (АРН), и более подробно изложены вопросы влияния и учета нагрузки. Заново составлена глава IV, где достаточно детально описаны неустойчивые процессы, протекающие в синхронной машине без демпферных обмоток и с ними, в условиях внезапного к. з.; показано действие АРН. Глава V дополнена тремя параграфами: «Учет апериодической слагающей тока к. з.», «Простейшее вычисление, периодической слагающей тока к. з.» и «Упрощенный расчет для выбора быстродействующих выключателей»; параграфы «Метод кривых затухания» и «Метод спрямленных характеристик» дополнены указаниями об особенностях вычисления токов к. з. при наличии у генераторов АРН. Значительно развита последняя глава: дополнительно помещены параграфы «Предельные соотношения между токами различных видов короткого замыкания» и «Распределение токов и напряжений», увеличено количество примеров.

Глава «Действия токов короткого замыкания» исключена из содержания книги ввиду того, что в настоящее

время этот материал входит в программу другого курса («Электрические станции и подстанции»).

Книга содержит 27 подробно решенных в тексте числовых примеров и собранные в конце 80 условий задач с ответами. Кроме того, в тексте помещены вопросы для самопроверки, которые содействуют активизации процесса самостоятельного изучения материала. Книга написана простым ясным языком и читается достаточно легко, с интересом. Удачное методическое построение материала книги свидетельствует о большом педагогическом опыте автора и хорошем знакомстве с условиями заочного обучения.

Недостатком книги как учебника является неполный охват комплекса вопросов, предусмотренных программой курса. В значительной части отсутствует материал вводного раздела курса: нет исторического обзора развития проблемы к. з., недостаточно полно освещена роль русских и советских ученых в развитии данной области энергетической науки и техники, не приведены указания о связи данного курса со смежными дисциплинами. Из материала раздела I программы в книге отсутствует изложение вопросов, связанных с обеспечением безопасности обслуживания электрических установок и работой заземлителей. Из материала раздела II программы в книге отсутствует целая глава «Гашение поля генераторов» (эта глава была включена в программу после передачи рукописи книги в издательство). Из материала раздела III программы («Токи в земле и заземлители») в книге изложены только вопросы определения параметров нулевой последовательности линий и кабелей.

Наряду с этим книга имеет достаточно большой объем для отводимого на изучение курса времени.

По мнению рецензента, сокращение объема книги и изложенного в ней материала возможно при надлежащем согласовании программ данного курса с программами смежных курсов. В частности, вопросы преобразования схем и другие вопросы расчета сложных схем, как и основы метода симметричных составляющих, должны быть хорошо известны студентам из курса «Теоретические основы электротехники». Протекание неустойчивых процессов в синхронных и асинхронных машинах и в трансформаторах должно быть известно из курса «Электрические машины». Во всяком случае такие общие вопросы, как методика практических расчетов режимов работы электрических систем, пользование системой относительных единиц, анализ неустойчивых процессов в электрической системе с вращающимися машинами и т. д., должны рассматриваться в каком-либо одном курсе и в более общем виде. В настоящее время эти вопросы в какой-то степени одновременно и по-разному рассмат-

риваются по меньшей мере в трех общих курсах: «Электрические сети и системы», «Токи короткого замыкания и токи в земле» и «Устойчивость электрических систем».

Изложение в книге методики графического расчета установившегося режима к. з. следовало сократить, поскольку практическая значимость этого материала сравнительно невелика.

Являясь учебником, книга не содержит материала, не предусмотренного программой указанного выше общего курса. В частности, в книге не рассмотрены случаи одновременных повреждений в разных пунктах сети, случаи сложных повреждений (короткие замыкания с обрывами), расчеты процессов к. з. с учетом качаний генераторов и т. д. Тем не менее, книга представляет интерес не только для студентов, но и для дипломированных инженеров, работающих в энергосистемах и в проектных организациях, так как в систематизированном виде содержит необходимую теоретическую базу и типовую методику практических расчетов. Более полное систематическое руководство в настоящее время отсутствует.

Несмотря на достаточно строгое и в целом хорошее изложение материала, в книге встречаются неудачные выражения и неточности, большей частью редакционного характера. Так, при правильности исходных положений и последующих выводов равенства (28, 1) и (28, 2) в представленном виде ошибочны. Точнее те же равенства, например для фазы a , можно записать в следующем виде:

$$\varphi_a(\omega t) = e_a \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right);$$

$$e_a = E'_{dm0} \cos(\omega t + \alpha) - x'_d I_{dm} \cos(\omega t + \alpha) - x_q I_{qm} \sin(\omega t + \alpha);$$

$$e_{a0} = e_{a0} = E'_{dm0} \cos \alpha - x'_d I_{dm0} \cos \alpha + x_q I_{qm0} \sin \alpha.$$

Указание, приведенное в первом абзаце стр. 43, оказывается непонятным при выражении участвующих величин в комплексной форме.

В примере 23 (§ 50) в расчете двухфазного к. з. использовано соотношение

$$x_{расч}^{(2)} = 2x_{расч}^{(3)}$$

применительно к отдельным ветвям эквивалентной схемы прямой последовательности. При отсутствии нужных пояснений это может создать ложное представление о допустимости деления системы по месту несимметричного к. з. В действительности же это соотношение определено условием $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$ для всей системы и справедливо при этом независимо от равенства сопротивлений прямой и обратной последовательностей по отдельным ветвям схе-

мы. В общем случае для любой генераторной ветви M получается из (50, 9):

$$x_{расч M}^{(n)} = n^{(n)} \frac{x_{1\Sigma}}{C_M} \frac{W_{nM}}{W_\delta} = n^{(n)} x_{расч M}^{(3)},$$

где

$$n^{(n)} = \frac{x_{1\Sigma} + x_\Delta^{(n)}}{x_{1\Sigma}} = 1 + \frac{x_\Delta^{(n)}}{x_{1\Sigma}}.$$

Необходимо было указать, что в месте трехфазного к. з. система может быть разделена на независимые части, причем для каждой из этих частей базисные условия могут выбираться независимо.

В книге слабо освещен вопрос об учете активных сопротивлений при расчетах токов к. з. в сетях 6 и 10 кв. Следовало привести хотя бы исходные положения к точному решению задачи неустановившегося процесса.

Нельзя признать удачными некоторые термины. Так, наряду с термином «установившийся» применяется термин «нестационарный». Базисным логичнее было бы называть сопротивление

$$X_\delta = \frac{W_\delta}{\sqrt{3} U_\delta},$$

а не относительное сопротивление, приведенное к базисным условиям.

Опечаток в книге мало. Наиболее существенные из замеченных нами опечаток: на стр. 133, во второй строке сверху должно быть U_{dm0} вместо U_{qm0} ; на стр. 145, в седьмой строке снизу должно быть $T_D = 0,08$ вместо 0,8.

Ссылки на устаревшую иностранную литературу (Бирманс, Рюденберг) неосновательны.

Следовало указать, что быстродействующие (электронные) автоматические регуляторы напряжения были предложены действительным членом Академии наук Украинской ССР С. А. Лебедевым, что развитие графического метода расчета на случай генератора с АРН было произведено автором книги совместно с инж. В. Я. Швагером, что цепочечная схема генератора, позволяющая определить все гармоники при несимметричном режиме, разработана проф. П. С. Ждановым и т. д.

Все эти и более мелкие недостатки не снижают положительных качеств книги, которая может быть рекомендована и для изучения соответствующего материала курса и как руководство по тем же вопросам для дипломированных инженеров.

Кандидат техн. наук, доц. Н. А. МЕЛЬНИКОВ

*Зав. кафедрой электрических сетей и систем
Всесоюзного заочного энергетического института*



Я. Л. БИХОВСКИЙ и В. Л. БАКИНОВСКИЙ. ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ЭЛЕКТРОСВЯЗИ. 72 стр., ц. 2 р. 75 к. Госэнергоиздат, 1949.

В рецензируемой брошюре кратко рассматривается применение радиолокационных методов для целей эксплуатации линий электропередачи и электросвязи. Она представляет собой изложение результатов работы авторов над созданием оригинального прибора ИЛ-1, предназначенного для обнаружения повреждений и дефектов воздушных и кабельных цепей. Следует отметить, что иностранные фирмы пока еще не сумели выпустить аппаратуру, способную конкурировать с ИЛ-1, производство которого уже освоено нашей промышленностью.

В начале брошюры излагаются общие принципы импульсных измерений, а также элементы теории распространения аperiodических волн в естественных и искусственных линиях. При этом подробно рассматриваются факторы, определяющие точность фиксации дефектов линий.

Дальнейшие главы посвящены схемам и техническим данным импульсных измерителей. Излагаются принципы действия генераторов импульсов, отметчиков, блоков развертки и устройств отсчета. В заключение сообщается ряд эксплуатационных данных и результатов измерений. Особенно ценными являются приводимые величины скоростей распространения импульсов в воздушных и кабельных линиях.

Рассматриваемая работа вводит читателя в круг идей, соответствующих современному состоянию вопроса. Она в основном написана хорошим языком. В этом отношении ее достоинства совершенно несомненны.

Однако, представляется необходимым сделать ряд замечаний, скорее методического, чем принципиального характера.

Рассмотрение теоретических вопросов, связанных с

распространением импульсов по естественным и искусственным линиям, произведено очень сжато. Встречаются неточные выражения и формулировки. Описание некоторых принципиальных схем, как, например, блокинг-генераторов и др., совершенно недоступно читателю «слабому», не искушенному в тонкостях радиотехники.

На стр. 30 упоминается возможность контроля изоляции электрических машин и трансформаторов по их импульсным характеристикам. Эта проблема имеет большое прикладное значение. Авторам, безусловно, следовало сослаться на соответствующие советские и иностранные работы. К сожалению, это не сделано.



ПАВЕЛ НИКОЛАЕВИЧ ЯБЛОЧКОВ. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ. Составила О. Н. Флоринская, под редакцией проф. В. В. Данилевского. 172 стр., ц. 15 руб. Ленинград. изд. Государственной публичной библиотеки им. Салтыкова-Щедрина, 1949.

Рецензируемый библиографический указатель состоит из трех основных разделов: 1) опубликованные работы П. Н. Яблочкова и полученные им патенты; 2) материалы о жизни и работах П. Н. Яблочкова, опубликованные в русской печати; 3) материалы о жизни и работах П. Н. Яблочкова, опубликованные в зарубежной печати. Этому материалу предпослано предисловие проф. В. В. Данилевского; книга снабжена списком использованных журналов, систематическим указателем и указателем имен.

Вряд ли есть необходимость особо отмечать, что появление такого библиографического указателя — отрадный и многозначительный факт. Не только лица, занимающиеся историей техники, но и все электрики нашей страны (да и зарубежные!) впервые получают пособие, весьма ярко подчеркивающее значение работ Яблочкова. Материалы о его жизни и деятельности разбросаны по самым разнообразным изданиям. Многие из этих материалов оказались совершенно забытыми, а следовательно и неиспользованными, но кропотливая работа библиографа вновь вернула эти материалы к жизни. Библиографический указатель О. Н. Флоринской показывает, что о Яблочкове были написаны сотни статей. Действительно, в библиографический указатель внесено 826 названий. Сама эта цифра является блестящим свидетельством интереса и большого внимания, которые были проявлены к работам Яблочкова в разные годы и в разных странах. Но и этот большой перечень материалов о Яблочкове не является полным — в нем имеются пропуски. Нет сомнения, что общее число разных источников, содержащих материалы о Яблочкове, превышает тысячу. Составитель указателя заслужит благодарность всех, кто в поисках материалов о Яблочкове обратится к этой самой полной до сего времени библиографии великого изобретателя. Помощь, которую окажет указатель при научной работе, весьма значительна. О. Н. Флоринская провела большую, трудную, но в высшей степени нужную работу.

Оценивая в общем вполне положительно труд О. Н. Флоринской, мы не можем не отметить и некоторых недочетов. Первое — это недостаточное соответствие аннотаций действительному содержанию отдельных статей. Так, например, под № 36 значится описание Парижской выставки 1878 г., помещенное в журнале «Вестник Европы» за тот же год. Аннотация гласит: «Об освещении и проспекте Оперы и др. улиц в Париже свечами Яблочкова». Статья написана неудачно и в ней ничего нет кроме упоминания названия проспекта Оперы. Читатель, обратившийся к этому источнику, только потеряет время и ничего не узнает об условиях освещения. Такой же недостаток в общем свойственен многим аннотациям газетных статей. В аннотациях нельзя ограничиваться только объективным упоминанием содержащегося в источнике материала, а обязательно нужно указывать, в каком отношении и в какой мере данный материал представляет ценность. Государственная публичная библиотека им. Салтыкова-Щедрина, нам кажется, не может и не должна давать в аннота-

Однако, все эти замечания не меняют общей положительной оценки рецензируемой работы. Авторы впервые сделали успешную попытку изложить основы и принципы нового многообещающего направления в технике измерений длинных линий. Их работа представит интерес для широкого круга читателей.

Кандидат техн. наук З. Г. КАГАНОВ

Ивановский энергетический институт им. Ленина

циях только сугубо объективное описание или уточнение содержания источника. Или обратимся к источнику под № 824 — книге Моргана. По аннотации указателя нельзя сделать вывод, что Морган на всем протяжении книги не только Яблочкова, но и других знаменитых русских деятелей электротехники оставил без внимания, как личности малозначущие для истории техники. Морган умудрился ни разу не упомянуть ни о Чиколеве, ни о Доллово-Добровольском, не говоря уже о том, что для него не существует работ Ломоносова. Аннотация явно недостаточна по своему содержанию.

В указателе имеются и некоторые досадные пропуски. Почему-то материалы о Яблочкове, как человеке, о его семье, родных, отзывы о нем выдающихся современников, материалы генеалогического характера, совершенно выпали из поля зрения составителя.

То, что писали о Яблочкове П. И. Чайковский, И. С. Тургенев, А. Рубинштейн, И. И. Янжул и другие наши видные деятели, к сожалению, не отмечено. Совершенно отброшено все то, что писалось о Яблочкове в саратовской печати (Яблочков умер в Саратове). Вообще вся саратовская краеведческая литература, где уделено место и Яблочкову, осталась без упоминания в указателе, а в этих саратовских материалах есть немало интересных сведений о Яблочкове и его близких (работы Хованского, Митропольского и др.).

Известно, что в Париже Яблочков был в близких отношениях с Г. А. Лопатиным, давал ему личные поручения во время тайных поездок Лопатина в Россию. Об этом в литературе есть материал, очень интересный для биографов Яблочкова. В указателе эти источники пропущены. Между тем, эти сведения — о взаимоотношениях Лопатина с Яблочковым — делают понятным то, что в завуалированном виде писал Чиколев в «Воспоминаниях старого электротехника» (источник № 257 указателя).

Много материалов, относящихся к роду Яблочковых и к близким к Павлу Николаевичу людям, к его ближайшим предкам, было опубликовано в разное время. Эти материалы многое поясняют в биографии Яблочкова. Таковы, например, «Семейная хроника», написанная двоюродной сестрой Яблочкова Ю. Н. Карпинской (Исторический вестник, стр. 853—870, 1897), замечания к этим воспоминаниям и поправки М. Т. Яблочкова, Родословная Яблочковых (Дворянское сословие Тульской губернии, т. X) и др. О предках Яблочкова писал Грибоедов в письме к С. Н. Бегичеву; критику литературного творчества бабки П. Н. Яблочкова — Е. Н. Бегичевой-Яблочковой дал Белинский (критика романа «Шигоны») и т. д. Неужели все это не представляет ценного материала, отсутствие которого в указателе объяснить трудно?

Библиографический указатель издан в количестве 1 500 экземпляров. Такой тираж недостаточен и, несомненно, переиздание должно быть осуществлено. Мы надеемся, что при переиздании наши замечания будут учтены составителем.

Доктор техн. наук, проф. Л. Д. БЕЛЬКИНД



Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

(Издания 1949 г.)

* **АНДРИАНОВ К. А., ЯМАНОВ С. А. ОРГАНИЧЕСКИЕ ДИЭЛЕКТРИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СРЕДСТВ СВЯЗИ.** (МПСС. Бюро технической информации). 116 стр. + вкладка, ц. 8 руб. Госэнергоиздат.

ВЕРТЕЛО А. ОТ АТОМА К АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. Перевод под ред. Э. Бурштейна. 206 стр. + вклейки (32. фотоснимка), ц. 8 руб. Гос. изд-во иностранной литературы (1948).

Научно-популярный очерк принадлежит перу ученика известного французского физика Фредерика Жолио-Кюри; последним написано предисловие к этой книге. В предисловии Ф. Жолио-Кюри между прочим пишет: «Как это происходит с большинством открытий и изобретений, деление урана открывает двоякую возможность использования — в созидательных и в разрушительных целях. К сожалению, это новое завоевание науки проявилось в виде атомной бомбы, как великая разрушающая сила. Однако мы убеждены, что опасность, связанная с таким разрушительным применением, вскоре исчезнет и восторжествует применение этого открытия на благо человечества. Мирное применение, которое уже можно предвидеть, имеет такое огромное значение, что без преувеличения можно говорить о новой эре — об атомном веке... Моя вера в прогрессивное развитие человечества (несмотря на наблюдавшиеся отклонения от такого пути) так велика, что я убежден в том, что новая победа над природой заведомо принесет больше добра, чем зла». Книга снабжена рядом редакционных примечаний в связи отсутствием в тексте ссылок на работы советских физиков и некоторым отставанием в отдельных местах от уровня новейших достижений в области ядерной физики. Более современной является книга М. И. Корсунского, аннотация на которую приведена ниже.

* **ВОСТРОКНУТОВ Н. Г. ТЕХНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.** Цена 17 руб. Металлургиздат.

ГАЛКИН Ю. М. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ (Автомобильное управление Советской армии). 268 стр. + 1 вклейка, ц. 9 руб. Военное изд-во.

* **ГЕРМАН Г., ВАГЕНЕР С. Оксидный катод.** Перевод А. П. Невлева, в переработке и с дополнениями Б. М. Царева. 508 стр. текста + 16 стр. иллюстраций на отдельных листах, ц. 24 руб. Гостехиздат.

ГОРБУНОВ Г. Г. ЭНЕРГЕТИКА ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ. Водно-энергетические подсчеты, выполняемые при эксплуатации гидроэлектростанций. 298 стр., ц. 12 руб. Госэнергоиздат.

* **ГОРНИШТЕЙН В. М. НАИВЫГОДНЕЙШЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК МЕЖДУ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ.** 256 стр., ц. 13 руб. Госэнергоиздат.

ДАНИНГЕР А. С. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЛАМПОЧКА (Научно-популярная библиотека). 44 стр., ц. 80 коп. Гостехиздат.

ЕФРЕМОВ В. Н. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОСТАНЦИЙ (Всесоюзный заочный энергетический институт) 156 стр., ц. 7 р. 50 к. Госэнергоиздат.

* **ЗАЙМОВСКИЙ А. С. и УСОВ В. В. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ.** Магнитные, проводниковые, реостатные и контактные материалы. Изд. 2-е, заново переработанное и дополненное. 568 стр. + вклейки, ц. 30 р. 50 к. Госэнергоиздат.

ИНСТРУКЦИИ П.2 ПО ПРИЕМКЕ, ИСПЫТАНИЮ И НАДЗОРУ ЗА ЗАЕМЛЯЮЩЕЙ ПРОВОДКОЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ 220, 110 и 30 кВ (Высоковольтная сеть Мосэнерго). 16 стр., беспл. Госэнергоиздат.

КОВАРСКИЙ Е. М. РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН. 174 стр., ц. 8 руб. Госэнергоиздат.

КОМАР Е. Г. ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ С ВОДОРОДНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ. 94 стр. + вклейка, ц. 5 руб. Госэнергоиздат (1948).

Применение водородного охлаждения вместо воздушного в крупных вращающихся электрических машинах дает, как известно, существенные преимущества: уменьшение вентиляционных потерь мощности, улучшение отвода тепла и соответствующее повышение мощности машины, улучшение условий работы электрической изоляции и замедление ее старения и пр. Книга, написанная одним из ведущих работников завода «Электросила» им. Кирова кандидатом техн. наук, лауреатом Сталинской премии Е. Г. Комаром, систематически и с большой наглядностью излагает общие вопросы применения водородного охлаждения в электрических машинах: рассматриваются выгодность водородного охлаждения и трудности, связанные с его применением, расчеты потерь и нагрева, конструктивные особенности машин с водородным охлаждением; большое внимание обращено на уплотнения, управление масляным хозяйством уплотнений и управление водородным хозяйством. Автор иллюстрирует общие положения своей монографией примерами мощных турбогенераторов с водородным охлаждением, выпущенных заводом «Электросила», отчетливо показывая прогрессивную роль советской техники в данном вопросе; в частности, отмечается турбогенератор завода «Электросила» на 100 000 квт при скорости вращения 3 000 об/мин,

* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается опубликование рецензий.

являющийся крупнейшим в мире по мощности двухполюсным богенератором вообще и в то же время крупнейшей в мире ной с водородным охлаждением.

КОНЫКОВ В. И. КОМПЛЕКТЫ ТЕЛЕГРАФНОГО АПАРАТА Т-19. 80 стр., ц. 3 руб. 25 коп. Связьиздат.

КОНТЕВ И. В., КУРБАТОВ Н. Д., КУЗНЕШОВ В. Н. НЕЙНО-КАБЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СВЯЗИ. Допущено в качестве учебника для техникумов связи. 399 стр., ц. 11 руб. 50 Связьиздат.

КОРСУНСКИЙ М. И. АТОМНОЕ ЯДРО. 303 стр. + вкл. (1 табл. и 27 рис.), ц. 6 руб. Гостехиздат.

Несмотря на изобилие изданий по вопросам ядерной физики, появление книги доктора физ.-матем. наук М. И. Корсунского должно приветствоваться. Она, как нельзя лучше, отвечает требованиям читателей, которые, с одной стороны, уже не удовлетворяются примитивным, обделенным изложением атомных вопросов с другой стороны, не обладают достаточной специальной подготовкой для усвоения сложных, с использованием математического аппарата, исследований и монографий, рассчитанных на специалистов данной области. Книга предназначена для учащихся старших классов средней школы, студентов и широких масс инженерно-технических работников. В популярной форме, с сохранением, однако, строго научного содержания, автор освещает историю развития физики эксперимента в этой области; описывает ядерную модель ядра, сообщает сведения о массе атомного ядра и знакомит с методами по расщеплению атомных ядер; в главах, посвященных ядерным лучам, открытию позитрона, мезотрона, варитрона, характеризует выдающееся значение работ, выполненных в направлении советскими учеными. Интересно написаны главы о практическом применении атомных ядер, в частности ядерной энергии и о цепных ядерных реакциях. Заканчивается книга рассмотрением вопросов использования атомной энергии. Содержащиеся в ней рисунки и схемы, а также фотоклейки с иллюстрациями хорошо иллюстрируют текст.

КУРЕШИН Ф. К. ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ. 296 стр., ц. 11 руб. Госэнергоиздат.

МАРКОВНИКОВ В. А. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ. 202 стр., ц. 11 руб. 50 Машгиз.

НАЗАРОВ Г. И. ЭЛЕКТРОПРИВОД В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ. Издание 3-е, 359 стр., ц. 7 руб. Сельхозгиз.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО РЕВИЗИИ И ИСПЫТАНИИ ПРИ МОНТАЖЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ (МЭС СССР, ЦНИЭЛ). 55 стр., бесплатно. Госэнергоиздат.

* **САНДЛЕР А. С. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ СТАНКОВ** (Всесоюзный заочный энергетический институт). 138 стр. + вклейка, цена не указана. Госэнергоиздат.

СБОРНИК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СТАТЕЙ, вып. I (Академия наук Украинской ССР. Институт электротехники). 126 стр., ц. 12 руб. Изд-во Академии наук Украинской ССР (1948).

СБОРНИК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СТАТЕЙ, вып. II (Академия наук Украинской ССР. Институт электротехники). 144 стр., ц. 12 руб. Изд-во Академии наук Украинской ССР (1948).

СБОРНИК ТРУДОВ № 3 (Академия наук Украинской ССР. Институт энергетики). 106 стр., ц. 12 руб. Изд-во Академии наук Украинской ССР (1948).

* **СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА** (Главное управление электрификации МСХ СССР. Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства). Составители: Н. А. Сазонов и Н. М. Шидловский. Авторский коллектив: В. Н. Андриянов, И. А. Булкин, А. Г. Захаркин, А. П. Златковский, А. А. Климов, А. А. Крайнов, М. Е. Кулик, М. П. Михайлов, Д. Л. Рябинов, Н. А. Сазонов, Е. Л. Шап, Н. М. Шидларев, В. А. Шустов, С. В. Щур, Л. Е. Эбин. Научные редакторы: М. Г. Евреинов, М. Ф. Поляков, В. Н. Степанов, М. Е. Бейлис, А. М. Саркисян. 599 стр., ц. 24 руб. Сельхозгиз.

СТАНИСЛАВСКИЙ Б. И. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЧЕТНО-РАСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА. Справочник. 235 стр., ц. 15 руб. Связьиздат (1948).

* **СТЕКОЛЬНИКОВ И. С. ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАММНЫЙ АППАРАТ.** Изд. 2-е, совершенно переработанное. 416 стр., ц. 20 руб. Госэнергоиздат.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО» 1959—1960 гг. Одобрен редакционной коллегией журнала 14 февраля 1949 г., 11 стр., бесплатно. Госэнергоиздат.

ТРЕТЬЯКОВ М. Н. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ТЕЛЕГРАФНЫХ АППАРАТОВ. 60 стр., ц. 2 руб. 75 коп. Связьиздат.

* **ФЕДОРОВ С. П. КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО РАДИОТЕХНИКЕ** (Управление Главнокомандующего военно-воздушными силами вооруженных сил Союза ССР). 220 стр., ц. 7 руб. Военное изд-во.

ЧАПЛИНСКИЙ А. Б. РЕМОНТ РАДИОПРИЕМНИКОВ. Изд. 2-е. 139 стр., ц. 4 руб. 80 коп. Гостехиздат Украины.



Дополнение к Правилам для авторов журнала „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

В дополнение к Правилам для авторов журнала „Электричество“, опубликованным в № 4, 1949 г., редакция журнала просит авторов вместе со статьей, направляемой в журнал, сообщать следующие сведения:

1. Является ли статья законченной работой автора или же она представляет часть выполненной им или при его участии научно-исследовательской работы (указать тему последней).

2. Какое практическое значение имеет статья и в какой области получили или могут получить применение выводы, изложенные в статье.

3. Обсуждались ли где-либо статья или содержащиеся в ней материалы и какая оценка была дана.