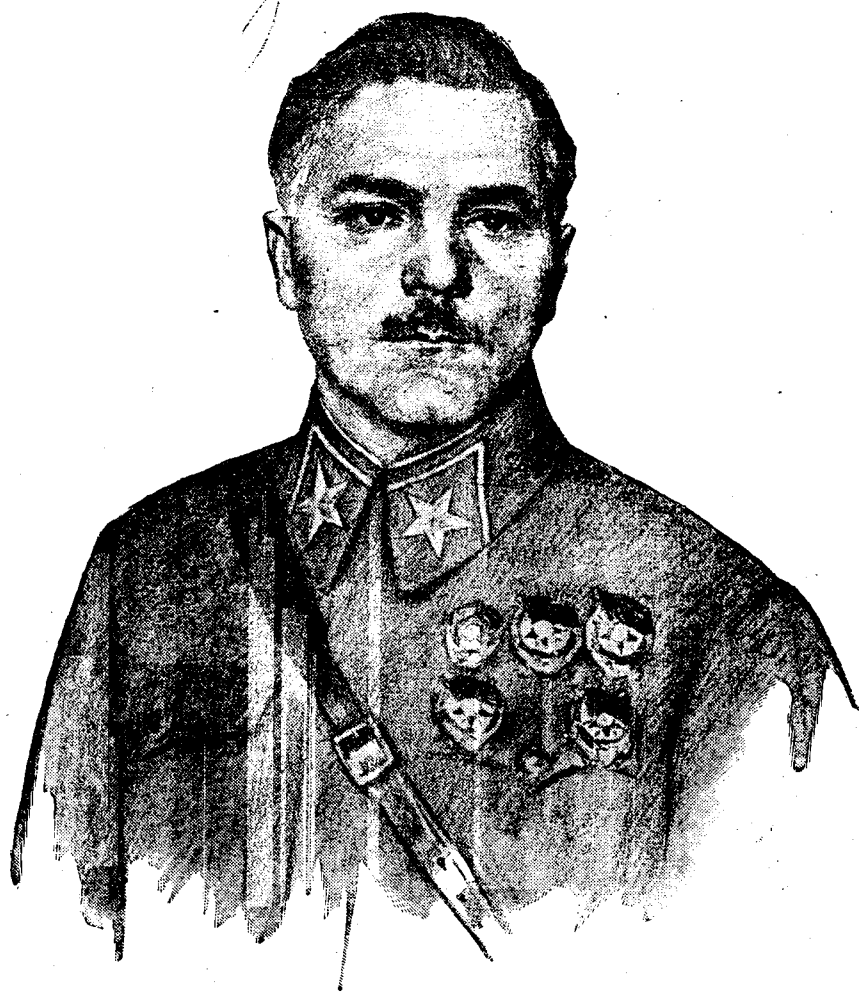




ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

2

1938

ОБЪЕДИНЕН
ТЕХНИЧЕСКОЕ



НОЕ НАУЧНО-
ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ГОД ИЗДАНИЯ 59-й

2

1938

ФЕВРАЛЬ

Журнал ГЛАВЭНЕРГОПРОМА и ГЛАВЭЛЕКТРОПРОМА НАРКОМАТА МАШИНОСТРОЕНИЯ, ГЛАВЭНЕРГО НКТП и ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АКАДЕМИИ НАУК СССР. Адрес редакции: Москва. Бол. Калужская, дом 67. Энергетический ин-т, 1 этаж, ком. 144, тел. В 5-32-79. Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648

К XX годовщине Красной Армии и Военно-Морского Флота

НА Втором Всесоюзном Съезде Советов 26 января 1924 г. в своей речи о смерти Ленина товарищ Сталин заявил:

«Третьей основой диктатуры пролетариата являются наша Красная армия, наш Красный флот. Ленин не раз говорил нам, что передышка, отъезжавшая нами у капиталистических государств, может оказаться кратковременной. Ленин не раз указывал нам, что укрепление Красной армии и улучшение ее состояния является одной из важнейших задач нашей партии. События, связанные с ультиматомом Керзона и с кризисом в Германии, лишь раз подтвердили, что Ленин был, как и всегда, прав. Поклянемся же, товарищи, что мы не поощрим сил для того, чтобы укрепить нашу Красную Армию, наш Красный флот».

Эта историческая клятва товарища Сталина, произнесенная в дни глубочайшего траура советской страны и трудящихся всего мира, была клятвой большевиков, у которых слово не расходится с делом.

XX годовщину Рабоче-Крестьянская Красная Армия и Военно-Морской Флот встречают вместе со всей страной в обстановке политического и морального единства народов СССР, сплоченности их вокруг партии Ленина—Сталина, победы блока коммунистов и беспартийных и развернувшейся государственной деятельности органов избранного на основе Сталинской Конституции Верховного Совета.

На страже мирного социалистического труда и политики мира, последовательно проводимой советским правительством, стоит наша Красная Армия, окруженная любовью рабочих, колхозников и интеллигенции, выросшая в грозную силу, готовую в любой момент обрушиться на врагов в случае их нападения.

Советский народ помнит о словах своего первого маршала тов. Ворошилова:

«Враги за рубежом знают, что наша Красная Армия уже сейчас по-настоящему организована и неплохо обучена, оснащена и вооружена. Враги знают, что нас теперь нельзя голыми руками взять... Они знают, что наш рабочий класс, наше колхозное крестьянство вместе со своей армией представляют теперь несокрушимую силу, которую они встретят и о которую могут расшибить себе лбы. Все это наши недруги хорошо знают,

а потому и готовятся пока. Пусть их готовятся, мы тоже готовимся, будучи всегда готовыми».

Своею мощью и вооружением Красная Армия обязана неустанным заботам большевистской партии, советского правительства и лично товарища Сталина.

Много труда, инициативы и изобретательности положено на укрепление обороны СССР рабочими, инженерами и учеными нашей страны.

Пламенный Серго Орджоникидзе, год со дня смерти которого исполняется 18 февраля с. г., Серго, имя которого связано со славными победами Красной Армии на полях гражданской войны, вдохновлял работников тяжелой промышленности при выполнении ими заданий по укреплению обороны страны.

С трибуны VII Всесоюзного Съезда Советов Серго Орджоникидзе говорил:

«Мы великолепно знаем, капиталистический волчий закон о том, что уважают только сильного, а слабых бьют. Исходя из этого, мы, ведя настойчивую политику мира, в то же время не забывали и не забываем об обороне нашей великой родины.

...Поставки тяжелой промышленности для Красной Армии за эти годы увеличились в 4—5 раз. И разрешите сегодня заявить VII Съезду Советов, что тяжелая промышленность готова выполнить свои обязательства в отношении обороны страны. Она даст нашей Красной Армии все необходимое для того, чтобы границы нашей великой родины были неприступными для наших врагов».

В арсенале технических средств вооружения современных армий важное место занимает электротехника. Радио, телефон, телеграф, автоматика, телемеханика, передвижные электростанции, электрооборудование морских кораблей, самолетов и танков, прожекторы и многочисленные другие электротехнические устройства являются неотъемлемой частью современных вооруженных сил. Электрические акционерные компании империалистических стран сейчас во-всю готовят на заводах и в секретных лабораториях новейшие аппараты и механизмы для оснащения своих армий. Электротехника фашистских агрессоров — Германии, Италии и Японии — уже мобилизована на нужды войны.

Велика и ответственна роль электротехники и

энергохозяйства в системе обороны СССР. Велика должна быть и бдительность работников электропромышленности и электростанций, ибо враги народа пытались и пытаются вести подрывную деятельность на этом участке народного хозяйства, организуя аварии, диверсии и шпионаж.

XX годовщине Красной Армии и Военно-Морского Флота недавно предшествовала XX годовщина ВЧК—ОГПУ—НКВД, которую страна встречала также с огромным воодушевлением. Славными работниками советской разведки, возглавляемыми сталинским наркомом товарищем Ежовым, уничтожены вражеские гнезда и тем самым нанесен смертельный удар по агентуре мирового фашизма в нашей стране, выиграна исключительная по своему значению победа.

Первая сессия Верховного Совета СССР утвердила образование Народного комиссариата Военно-Морского Флота. Этим государственным актом еще более укрепляется оборонная мощь Советского Союза. В речи на объединенном заседании обеих палат Верховного Совета председатель Совета Народных Комиссаров товарищ Молотов сказал:

«Мы считаем так: главное, чтобы был крепок и могуч наш государственный корабль, а он, как мы знаем, крепок и все больше крепнет. Наш советский строй могуч и хочет быть еще могущественнее, хочет быть неприступным для врагов. Из этого мы делаем вывод, что нам нужна сильная Красная Армия и нам нужен сильный Военно-Морской Флот. У могучей Советской державы должен быть соответствующий ее интересам, достойный нашего великого дела, морской и океанский флот».

С огромным энтузиазмом и одобрением встретили депутаты Верховного Совета речь товарища Молотова.

Замечательно выразил чувства и мысли советского народа об обороне страны старейший член и депутат Верховного Совета академик А. Н. Бах, которому выпала почетная честь открытия Первой сессии Верховного Совета:

«Товарищи, успехи наши велики. Но мы не забываем и о врагах, о капиталистическом окружении. Враги видят в наших успехах смертельную опасность для защищаемого ими капиталистического строя. И если мы в последние годы не подверглись нападению, то только потому, что великое состояние нашей Красной Армии вызывает у них опасение, что, если они нападут на нас, — им не сдобровать.

Товарищи, и действительно наша Красная Армия — одна из лучших по своей военной подготовке и по своему вооружению. В то же время она несомненно и безусловно лучшая по своей преданности родине.

В капиталистических странах армии комплектуются из трудящихся, которые являются классовыми врагами капиталистического строя. И дисциплина в этих армиях поддерживается только путем суровых наказаний.

Наша Красная Армия — плоть от плоти трудящихся масс — горячо и беззаветно предана общему делу строительства новой, счастливой жизни народа.

Мы всемерно стремимся к миру не только потому, что нам отвратительна и ненавистна война: в чем не повинных людей, но и потому, что война задержала бы наше социалистическое строительство. Мы хотим мира, но если на нас нападут, мы все, как один человек, станем на защиту нашей социалистической родины, и тогда горе будет нашим врагам».

Из Конституции Союза ССР

Статья 132.

Всеобщая воинская обязанность является законом.

Воинская служба в Рабоче-Крестьянской Красной Армии представляет почетную обязанность граждан СССР

Статья 133.

Защита отечества есть священный долг каждого гражданина СССР. Измена родине: нарушение присяги, переход на сторону врага, нанесение ущерба военной мощи государства, шпионаж — караются по всей строгости закона, как самое тяжкое злодеяние.

ОТ РЕДАКЦИИ

Постановление Совета Народных Комиссаров Союза ССР от 13 октября 1936 г. поставило перед народным хозяйством важную задачу экономии электроэнергии и разработки норм расхода ее в промышленности. Как известно, за истекшее с момента постановления время Главэнерго НКТП и вся промышленность Союза не справились полностью с разрешением этой задачи. Не подлежит сомнению, что троцкистско-бухаринские агенты германо-японского фашизма, орудовавшие в энергохозяйстве, всячески срывали проведение мероприятий по экономии электроэнергии, в числе которых первостепенное значение имеют: применение на основе учета стахановских методов работы и рационализации технологических процессов научно и практически проверенных норм потребления электроэнергии в промышленности, поднятие общей культуры эксплуатации электроустановок, в особенности широкого внедрение статических конденсаторов и электроизмерительной аппаратуры.

В III пятилетке народного хозяйства СССР экономия электроэнергии попрежнему является одной из актуальных проблем, над которой надо упорно и систематически работать.

Печатаемая ниже статья проф. Е. А. Руссаковского, осеющая научно-технические основы нормирования удельных расходов электроэнергии и изучения энергобаланса промышленных предприятий, предлагается редакцией на обсуждение энергетиков отраслей промышленности, заводов и фабрик, инженеров и научных работников электрохозяйства и электропромышленности.

Основы нормирования потребления электроэнергии в промышленности СССР

Е. А. Руссаковский

Энергетический институт им. Кржижановского
Академии наук СССР

Вопросы энергетики, и в особенности энергетического баланса промышленного предприятия, в нашей научно-технической литературе освещены недостаточно. При решении актуальных задач планирования, эксплуатации и проектирования заводского электрохозяйства господствуют формально-статистические методы. Нормирование удельных расходов электроэнергии в ряде отраслей еще не стало подлинным рычагом борьбы за экономию электроэнергии и рационализации электрохозяйства именно в силу формально-статистического характера норм. Большие перерасходы меди, ввод в эксплуатацию излишнего электрического оборудования (сети, подстанции и моторы) в промышленных предприятиях в значительной мере являются следствием такого характера коэффициентов, на основе которых ведется определение расчетных нагрузок. Ключ к научному анализу проблемы баланса энергии и мощности может дать лишь анализ энергетических балансов отдельных технологических операций.

Действительно, удельный расход энергии промышленного предприятия представляет собой сумму затрат энергии на производство единицы (конкретной или средней) продукции на всех стадиях ее изготовления, иначе — сумму затрат энергии на определенную совокупность операций по выработке единицы данной продукции¹.

Энергетический баланс любой технологической

операции может быть изображен графически в $P-T$ (мощность — время) координатах [$P = t(T)$]. Этот график отражает основную закономерность изменения нагрузки в зависимости от хода процесса во времени. Площадь графика $\int_0^T P dt$ и представляет собой удельный расход на данную частичную технологическую операцию W_0 .

Если суммарные удельные, а следовательно, и абсолютные расходы энергии для данного цеха, предприятия получаются в результате арифметического суммирования расходов на всю совокупность операций по выработке данной продукции, то величина максимальной нагрузки, характер совмещенного графика электрической нагрузки предприятия определяются процессом совмещения элементарных графиков отдельных технологических операций.

Только на основе изучения графического изображения энергетического баланса процесса возможен правильный выбор мощности моторов, что очень важно и с точки зрения экономии оборудования и с точки зрения повышения $\cos \varphi$ электросистемы.

Суммирование графиков элементарных процессов позволит определить максимальную нагрузку и характеристики совмещенных графиков группы оборудования, цеха, без чего немислм расчет заводских (цеховых) сетей и подстанций.

Наконец, правильное планирование баланса мощности электро-энергетической системы немисливо без точного расчета максимальных нагрузок

¹ Помимо этих основных затрат, полный удельный расход включает также расход энергии на ряд вспомогательных и подсобных операций и на создание условий для труда (освещение, вентиляция, отопление и т. п.).

отдельных промышленных предприятий и исследования процесса совмещения графиков электрических нагрузок этих предприятий.

Элементарный график нагрузки $P = f(T)$ в подавляющем большинстве случаев не поддается аналитическому выражению. Поэтому мы будем рассматривать график процесса как статистический ряд непрерывно изменяющихся величин. График процесса при данном его инженерном оформлении можно характеризовать одной конкретной и одной обобщенной величиной.

Конкретная величина $P_{\max}$ характеризует одну нагрузку или одну категорию нагрузок. Вопрос о временной характеристике этой величины будет освещен ниже. Обобщенную характеристику ряда дает величина P_{cp} — средняя нагрузка за период T_c (длительность технологического цикла).

Так как рассматриваемый график элементарного (частичного) процесса будет служить отправным материалом и при рассмотрении баланса мощности, наряду с этими двумя величинами, характеризующими график, следует поставить и величину установленной (присоединенной) мощности P_{np} соответствующего токоприемника.

Эти три величины являются исходными при расчете коэффициентов, характеризующих баланс мощности и энергии процесса.

При планировании баланса энергии и мощности существенное значение имеют следующие общеизвестные коэффициенты.

Коэффициент нагрузки $\beta = \frac{P_{cp}}{P_{\max}}$; коэффициент одновременности $\gamma = \frac{P_{\max}}{P_{np}}$; коэффициент использования $\delta = \frac{P_{cp}}{P_{np}}$.

При анализе и планировании баланса энергии конфигурация графика в достаточной мере характеризуется коэффициентом нагрузки. Однако эта характеристика недостаточна при планировании баланса мощности. Она дает лишь отношение средней нагрузки P_{cp} к одной из конкретных величин ряда, в то время как на конфигурацию совмещенного графика группы токоприемников оказывают влияние все ординаты графика.

Поэтому необходимо ввести еще один показатель, характеризующий колебания ряда (графика). Как известно из статистики, таким показателем может служить коэффициент вариации, представляющий отношение среднеквадратического отклонения σ к средней нагрузке P_{cp} :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P - P_{cp})^2}{s}}; \nu = \frac{\sigma}{P_{cp}},$$

где s — число ординат графика.

Анализ энергетических балансов отдельных операций. По перспективному энергобалансу, проект которого для третьей пятилетки разработан в Энергетическом институте Академии наук СССР, электроэнергия в производственных процессах расходуется² на электропривод (70%), электротермические процессы (15%) и на электролиз (15%).

Методы построения и анализа энергетического баланса операций в увязке с организационно-производственными, технологическими и энергетическими факторами могут быть достаточно полно иллюстрированы примерами для каждой из указанных областей применения электроэнергии.

Процессы механической обработки. Энергетический баланс процесса механической обработки будет рассмотрен на примере обработки металлов резанием.

Рассмотрим простейший случай, когда работа станка характеризуется только двумя уровнями нагрузки: максимальным — в период обработки металла резанием и минимальным, соответствующим

мощности холостого хода, — в период производства вспомогательных операций.

Графическое изображение процесса представлено на рис. 1. На рисунке: $T_{ш} = T_c$ — длительность технологического цикла или штучное время — норма времени; T_0 — машинное (основное время); T_g — неперекрываемое вспомогательное время; $P_{пол}$ — полезная мощность, расходуемая на обработку металла за период T_0 ; P_0 — мощность холостого хода.

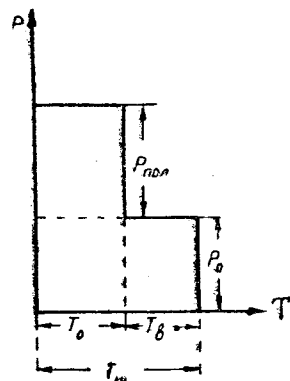


Рис. 1

Удельный расход энергии на одну операцию определится, как видно из рис. 1, формулой

$$W_0 = P_0 T_{ш} + P_{пол} T_0. \quad (1)$$

В результате развития стахановского движения на машиностроительных заводах величина T_0 значительно снизилась и будет снижаться в дальнейшем. В соответствии с этим снизился и будет снижаться удельный расход электроэнергии на операцию.

Для определения зависимости W_0 от T_0 и экспериментальной проверки ее в производственных условиях более удобно в качестве промежуточного показателя пользоваться удельным расходом электроэнергии на станко-час непрерывной работы $W_{ш}$.

Действительно, если величины $T_{ш}$ измеряются секундами или минутами, то определить W_0 экспериментально трудно. Расход же энергии на станко-час определяется необычайно просто.

Для перехода от W_0 к $W_{ш}$ введем понятие о норме выработки.

Под нормой выработки $x_{см}$ понимается количество деталей (или операций), которое должно быть произведено за смену при данной норме времени. При изучении влияния производительности станка на удельные расходы электроэнергии мы будем пользоваться выработкой станка за 1 h работы $x = \frac{x_{см}}{T_p}$, где T_p — рабочее время в часах за смену. Очевидно

$$x = \frac{1}{T_{ш}}.$$

Отсюда

$$W_{ш} = W_0 x = P_0 + P_{пол} T_0 x.$$

² Расход энергии на освещение мы здесь не рассматриваем.

Обозначая P_0 через a_0 и $P_{пол}$ через a_1 , имеем

$$W_{\Sigma} = a_0 + a_1 x. \quad (2)$$

Так как при заданном режиме резания T_0 величина постоянная, то x может изменяться только за счет изменения T_s и одновременной обработки на станке нескольких деталей.

Как видно, зависимость $W_{\Sigma} = f(x)$ имеет линейный характер. Поэтому она легко может быть построена на основе экспериментальных данных по двум точкам.

Если на станке проводится несколько операций, то энергетическая характеристика станка будет представлена пучком прямых, выходящих из точки $x = 0$; $W_{\Sigma} = a_0$.

На основе этих характеристик определяется зависимость удельного расхода энергии от выпуска продукции

$$W_0 = \frac{a_0}{x} + a_1. \quad (3)$$

Если вместо x подставить его значение $x_{\Sigma} = \frac{1}{T_{\Sigma}}$, то мы получим нормированный расход энергии, соответствующий установленной норме времени. Эта формула позволяет судить, в какой степени перевыполнение норм влияет на удельный расход энергии.

Выше мы рассмотрели влияние одного фактора при неизменных режимах резания.

Развитие стахановского движения на заводах привело к значительному повышению показателей режимов резания, которое обусловило резкое повышение технических норм оборудования и производительности труда.

Одновременно повысилось использование мощности станка и изменились удельные расходы.

Влияние изменения режимов резания на энергетический баланс процесса видно из следующего.

Полезная мощность $P_{пол}$, необходимая для процесса резания, определяется по формуле:

$$P_{пол} = \frac{F_p v}{60 \cdot 102}; \quad (4)$$

F_p — усилие резания в кг;

v — скорость резания в м/мин.

Усилие резания зависит от значительного количества факторов. Для определения этой величины предложен ряд формул. Мы приводим ниже формулу проф. Глебова:

$$F_p = \frac{\beta s^{x_1} t^y H_B^z \alpha^m v^n Q}{\sin^{(x-y)} \gamma \omega}; \quad (5)$$

β — числовой коэффициент;

s — подача в мм/об;

t — глубина резания в мм;

H_B — твердость по Бринелю;

v — скорость резания в м/мин;

α — угол резания;

γ — угол резания в плане;

ω — коэффициент, учитывающий влияние охлаждающей и смазывающей жидкости;

Q — коэффициент, учитывающий влияние реза;

x, y, z, m, n — показатели степени, зависящие, главным образом, от качества обрабатываемого металла.

Наиболее интересно выявить влияние показателей режима резания, т. е. s, t и v , на удельный расход при прочих равных условиях.

При этом формула может быть сведена к виду:

$$F_p = C s^x t^y. \quad (6)$$

Прежде чем перейти к анализу влияния этих показателей на энергетический баланс процесса, охарактеризуем вкратце роль других факторов.

H_B^z для данной марки стали — величина постоянная. Изменение v влияет на усилие резания следующим образом (для ходовых марок стали): при повышении v в пределах от 5 до 20 м/мин F_p снижается на 3—4%. При повышении скорости в пределах от 20—30 м/мин усилие повышается на 2—15%. Наконец, при дальнейшем повышении скорости (30 до 50 м/мин) вновь происходит снижение F_p на 3—10%.

Влияние геометрии реза на F_p (коэффициент Q) ничтожно.

Значительное снижение усилия резания возможно при применении соответствующей охлаждающей и смазывающей жидкости. Исследования проф. Савина показали, что при применении льняного масла взамен содового раствора усилие резания снижается на 15%. Этому фактору и с технологической и с энергетической точки зрения должно быть уделено большое внимание.

Переходим непосредственно к анализу влияния показателей режима резания на энергетический баланс процесса.

Подставляя выражение F_p из (6) в формулу (4), получаем:

$$P_{пол} = \frac{C s^x t^y v}{60 \cdot 102}. \quad (7)$$

Выше мы указывали, что полная мощность, потребляемая в период обработки, равна сумме $F_0 + P_{пол}$.

Необходимо отметить, что при обработке в станке и моторе будут возникать дополнительные к мощности холостого хода потери — механические и электрические. Эти потери можно принять пропорциональными величине $P_{пол}$. Таким образом полная мощность, потребляемая станком в период резания

$$P = P_0 + k P_{пол},$$

где $k > 1$ — коэффициент, учитывающий дополнительные потери.

Подставляя значение $P_{пол}$ из (7) в формулу (1), получаем следующее выражение для удельного расхода энергии на одну операцию:

$$W_0 = P_0 (T_0 + T_s) + k \frac{C s^x t^y v}{60 \cdot 102} T_s. \quad (8)$$

В таком виде формула позволяет учесть влияние режима резания на удельный расход энергии.

Прежде чем перейти к анализу этой формулы, необходимо охарактеризовать влияние повыше-

ния показателей режима на потери холостого хода.

На величину потерь холостого хода может оказать влияние только изменение скорости отдельных частей механизма.

Масштаб повышения мощности холостого хода зависит от масштаба увеличения числа оборотов и типа приводного двигателя.

Анализ влияния этих факторов позволяет приблизительно оценить динамику потерь холостого хода следующими цифрами. При изменении скорости в 2 раза мощность холостого хода возрастает в зависимости от типа приводного двигателя в 1,5—2 раза.

Основное (машинное) время изменяется обратно пропорционально величинам v , s и t .

Рассмотрим влияние повышения скорости резания. Как видно из формулы (8), при повышении скорости резания первый член формулы претерпевает следующие изменения: мощность холостого хода возрастает медленнее, чем растет скорость; $T_{ш} = T_0 + T_s$ снижается вследствие снижения T_0 . Результат изменения зависит от соотношения роста P_0 и снижения $T_0 + T_s$, т. е. от типа приводного двигателя и соотношения $\frac{T_0}{T_{ш}}$.

В большинстве случаев будет иметь место некоторое снижение первого члена формулы (8).

Второй член формулы остается неизменным, так как T_0 изменяется обратно пропорционально величине v .

Повышение глубины резания приводит к уменьшению обоих членов формулы. Первый член уменьшается благодаря уменьшению $T_{ш} = T_0 + T_s$.

При изменении t изменяются t^v и T_s . T_0 изменяется обратно пропорционально t . Что же касается t^v , то так как показатель степени y меньше 1 (от 0,95—0,97 в зависимости от вида обрабатываемого материала), этот член растет медленнее, чем падает T_0 . В результате происходит некоторое уменьшение второго члена формулы. Практически увеличение t ограничено, так как эта величина определяется величиной припусков.

Сказанное относительно глубины резания справедливо и в отношении подачи. Увеличение подачи в большей степени влияет на изменение удельных расходов энергии, чем остальные факторы, ибо показатель степени подачи x ниже, чем y и для отдельных материалов составляет от 0,72 до 0,85.

Как видно из сказанного, наибольший эффект с энергетической точки зрения даст увеличение подачи.

Чтобы получить представление о количественной стороне рассматриваемых зависимостей, приведем пример применительно к одной из наиболее ходовых в металлообработке марок углеродистой стали.

$s = 0,8$ мм/об; $t = 2,5$ мм; $H_B = 150$; $x = 0,85$; $y = 0,97$; $z = 0,45$; $v = 25$ м/мин. Двигатель — асинхронный, односкоростный, $P_0 = 0,25$ Р; $k = 1,3$.

На рис. 2 даны кривые изменения удельных расходов энергии (только за период T_0 при $T_s = 0$) при увеличении s , t и v (каждой из величин в отдельности) по сравнению с приведенными в условии.

Итак, анализ энергетического баланса процесса резания позволил выявить влияние каждого фактора на динамику удельных расходов энергии.

Организационно-производственные факторы отражаются на величине $q = \frac{T_p}{T_k}$ (коэффициенте рабочего времени). В связи с уменьшением T_s сокра-

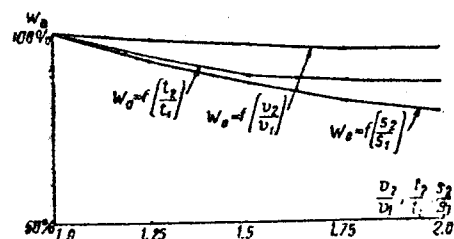


Рис. 2. Влияние изменения скорости резания и подачи на удельные расходы энергии

щаются удельные расходы электроэнергии на операцию, а при росте q сокращаются удельные расходы в части вспомогательных операций.

Технологические факторы — изменение режимов резания в сторону повышения — также приводят к снижению удельных расходов.

Организация планово-предупредительного ремонта, правильный подбор привода, проверка машин на легкость хода приводят к снижению мощности холостого хода и, следовательно, к снижению удельных расходов.

Следовательно, в металлообработке все факторы обуславливают снижение удельных расходов энергии в динамике.

Приведенный метод анализа энергетического баланса процесса может быть применен и к другим процессам механической технологии.

Если снижение простоев и вспомогательного времени, проверка на легкость хода и ремонт во всех случаях будут приводить к снижению удельных расходов, то изменение технологических режимов может привести и к повышению удельных расходов на операцию.

Такое положение имеет место в текстильной промышленности, для которой основная часть мощности машин приходится на холостой ход.

В силу высокой составляющей холостого хода наличия больших вентиляционных потерь повышение скоростей приводит к более быстрому возрастанию потребляемой мощности. При возрастании числа оборотов выпуск продукции возрастает пропорционально первой степени числа оборотов (скорости), а потребляемая мощность для прядильных и крутильных машин увеличивается в степени 1,4—1,6, а для ткацких станков в степени 2.

На этом же примере, с другой стороны, можно иллюстрировать те возможности снижения расходов энергии и мощности, которые кроются в самих конструкциях машин. Применение, например, шариковых и роликовых подшипников в барабанах и веретенах может снизить удельные расходы эне-

гии на 25—30%. Замена тяжелых металлов легкими сплавами при изготовлении быстро движущихся деталей и узлов может сократить удельные расходы на 20%. Таким образом относительно простые конструктивные изменения в текстильных машинах могут значительно снизить расходы.

Следует отметить, что суммарные ресурсы снижения удельных расходов в текстильной промышленности настолько велики, что и при существующем оборудовании при повышении скоростей суммарные удельные расходы энергии могут быть значительно снижены.

Электротермические процессы. Сущность и методику построения и анализа энергобаланса электротермических процессов рассмотрим на примере процесса отжига³.

Эта операция применяется с целью исправления структуры стали и для уничтожения вредных напряжений и твердости, вызванных обработкой давлением (штамповка, прокатка).

Чтобы энергетический баланс позволял судить о путях снижения удельных расходов и методах нормирования этих расходов, он должен быть построен с такой степенью дифференциации, которая обеспечила бы возможность исследования каждого из факторов в отдельности.

Приводимые в литературе балансы неудовлетворительны с этой точки зрения, так как в них обычно отсутствует возможность выявить влияние длительности технологического цикла T_c на удельные расходы.

Полезный расход энергии в данном случае, как и в других случаях термической обработки стали, не зависит от длительности процесса, а только от вида обрабатываемого металла, от соответствующей ему температуры отжига и теплоемкости его.

Полезный расход

$$Q_{пол} = G (Jt_2 - Jt_1) \frac{1}{860}, \quad (9)$$

где G — вес металла в кг;

Jt_2 — теплосодержание металла при температуре отжига t_2 ;

Jt_1 — теплосодержание металла при загрузке его в печь при температуре t_1 .

Если металл загружается в печь в таре, то тепло, уносимое тарой, определяется по той же формуле.

Потери через боковые поверхности, под и крышку исчисляются на основе законов теплопередачи, причем они зависят от величины поверхности, толщины и материала стенок и продолжительности процесса (T_c).

Для шахтной печи при загрузке отжигаемого металла в тару суммарный расход энергии на одну садку

$$W_c = a_0 T_c + a_1 G + a_2, \quad (10)$$

где a_1 — полезный расход электроэнергии на нагрев 1 т отжигаемого металла;

a_2 — расход энергии на нагрев тары, a_1 и a_2 определяется по формуле (9);

a_0 — средние часовые потери энергии («расход холостого хода»);

T_c — длительность процесса отжига (принято, что охлаждение металла происходит не в печах отжига, а в специальных колодцах);

G — вес загруженного в печь металла — «вес садки» в т.

Очевидно, удельный расход энергии на 1 т металла

$$W_n = \frac{a_0 T_c}{G} + a_1 + \frac{a_2}{G}. \quad (11)$$

Формула (11) позволяет учесть отдельно влияние каждого из факторов на динамику удельных расходов и одновременно указывает пути снижения удельных расходов.

Снижение величины a_2 возможно путем снижения веса тары (применение горшков, клепаных из жароупорной стали, взамен литых).

Снижение величины a_0 возможно путем улучшения изоляции печей: увеличения слоя изоляции, применения изолирующих материалов с меньшей теплопроводностью.

Большое значение имеет увеличение загрузки печи, т. е. улучшение использования оборудования. При росте G снижаются первый и последний члены формулы (11).

Анализ работы печей в эксплуатационных условиях показывает, что в настоящее время производственная мощность их не используется полностью.

Наконец, потери холостого хода, а следовательно, и удельные расходы электроэнергии, могут быть снижены путем сокращения длительности отжига.

Время отжига T_c состоит из времени включения печи и времени выдержки металла. В первый период температура металла доводится до заданного уровня (t_2 отжига). В период выдержки температура металла остается неизменной. Очевидно, сокращение T_c возможно за счет более быстрого нагрева металла, что достигается большим подводом тепла в единицу времени.

Таким образом чем больше потребляемая мощность (при прочих равных условиях), тем быстрее будет осуществляться нагрев.

Однако требования технологического процесса лимитируют ускорение процесса нагрева металла.

Развитие стахановского движения показало, что заводы имеют значительные возможности сокращения T_c без ущерба для хода технологического процесса. На ряде заводов в результате специально поставленных экспериментальных работ проведено сокращение T_c на 25%. Анализ отчетных данных 1937 г. на одном из машиностроительных заводов показывает, что свыше 30% всех садок имели T_c ниже среднего на 20—30%. Это более высокое сокращение обу-

³ Отжигом называется операция нагрева стали выше критической точки на 30—50°, выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение (в печи или специальных колодцах).

словлено правильным ведением термического режима печей.

Приведенные соображения показывают, что в процессах термической обработки так же, как и в процессах механической технологии анализ удельных расходов и энергетических балансов может быть проведен только на основе изучения элементов технологического процесса и соответствующих аппаратов (рабочих машин).

Энергетик должен настолько овладеть технологическим процессом соответствующей отрасли, чтобы он мог участвовать в определении наиболее выгоднейших режимов ведения процесса, установление которых непосредственно связано с энергетическим балансом.

Чтобы получить представление о количественной стороне рассматриваемых зависимостей удельных расходов от энергетических и технологических факторов, приведем пример, разработанный по материалам обследования одного из заводов.

Удельный расход энергии — средний эксплуатационный и перспективный, который может быть получен в результате рационализации электрохозяйства и технологического процесса определяется следующими величинами:

Отчетный удельный расход

$$W_n = \frac{25 \cdot 2 \cdot 11,5}{2,25} + 155,5 + \frac{145}{2,25} = 350 \text{ kWh/t.}$$

Перспективный расход

$$W_n = \frac{17 \cdot 6 \cdot 9,5}{2,75} + 155,5 + \frac{145}{2,75} = 270 \frac{\text{kWh}}{\text{t}}.$$

Таким образом возможно снижение удельного расхода на 25%.

Улучшение изоляции (снижение тепловых потерь), ускорение процесса, увеличение нагрузки оборудования, автоматизация и контроль — пути, общие для всех электротермических процессов.

Как видно, и на этом участке электропотребления кроются значительные резервы снижения удельных расходов энергии.

Процессы электролиза. Затраты энергии на электролиз слагаются из двух величин: теоретической составляющей, определяемой природой физико-химического процесса, и тепловой составляющей.

Теоретическая составляющая для каждого данного элемента остается постоянной. Тепловая составляющая представляет собой потери энергии во всех омических сопротивлениях цепи ванны.

При процессах электролиза расплавленных сред тепловая составляющая может быть разбита на две части: к первой относится расход энергии на компенсацию тепловых потерь ванны или, что то же, на поддержание электролита в расплавленном состоянии при необходимой для процесса температуре, а ко второй — все потери энергии во внешних токопроводящих элементах (контакты, шины).

При электролизе водных растворов имеют место потери на преодоление сопротивления элект-

ролита, а также дополнительные потери (сверхнапряжение для газов, химическая поляризация для металлов).

Коэффициент полезного действия процесса электролиза расплавленных сред значительно ниже, чем к. п. д. процесса электролиза водных растворов, вследствие значительно более высокой температур процесса.

Удельный расход электроэнергии при процессах электролиза складывается, таким образом, из двух частей.

Полезный расход определяется вполне точно на основе законов Фарадея как для случая электролиза водных растворов, так и для электролиза расплавленных сред.

Снижение удельных расходов возможно путем увеличения выхода по току и снижения потерь напряжения.

В процессах электролиза водных растворов коэффициент выхода по току достаточно высок — 0,9 ÷ 0,98, так как отсутствуют явления побочного электролиза, а утечки тока ничтожны. Основной путь снижения удельных расходов — борьба с потерями напряжения.

Как известно из электрохимии, снижение перенапряжений возможно путем ведения процесса при более высоких температурах электролита и выбора соответствующих материалов электрода.

Так например, при электролитическом разложении воды величина перенапряжения при комнатной температуре составляет 0,51, а при температуре в 80° — 0,43 (плотность тока — 1000 А/мм², электроды — никелевые).

Границы повышения температуры электролита определяются опасностью коррозии. При заданной температуре (80°), плотности тока (1000 А/мм²) и при электродах из железа, обработанного струей песка, перенапряжение составляет 0,22 В, а при никелевых электродах — 0,43 В.

Величина перенапряжения уменьшается также с понижением плотности тока, однако это мероприятие в большинстве случаев экономически нецелесообразно, так как отражается на производительности ванны. Снижение потерь напряжения (а следовательно, и удельных расходов в энергии) возможно также путем уменьшения внутреннего сопротивления ванны, которое в основном определяется сопротивлением электролита.

Удельная проводимость зависит от температуры (повышается с повышением температуры) и концентрации. Каждой температуре соответствует наиболее выгодная с точки зрения удельной проводимости концентрация электролита. Удельная проводимость зависит также от междueleктродного расстояния. Сближение электродов до определенных пределов приводит к повышению проводимости.

Учет всех приведенных факторов при разработке конструкций ванн и в процессе их эксплуатации позволит значительно снизить расход энергии по сравнению с современным уровнем.

Так, при осуществлении охарактеризованных выше мероприятий удельный расход по некоторым производствам может быть снижен на 20% по сравнению с существующими.

Электролиз расплавленных сред, как известно,

происходит при высоких температурах, например, температура в алюминиевых ваннах равна 950°.

Как и в процессах электролиза водных растворов, понижение удельных расходов может быть осуществлено путем улучшения конструкции ванн по линии сближения электродов, применения непрерывных анодов, угольно-металлических подлин.

Процессы электролиза расплавленных сред в силу высоких температур характеризуются значительно более низким к. п. д. по сравнению с электролизом водных растворов.

Так, при производстве алюминия при суммарном расходе в 19 MWh/t полезный расход составляет лишь 6,25, а на компенсацию тепловых потерь ванн и потерь во внешней цепи приходится 12,75 MWh/t.

Работа при оптимальных плотностях тока, правильное ведение режима ванн (отсутствие вспышек, нормальная температура), тщательное выполнение контактов, применение ванн повышенной производительности позволят снизить тепловые потери.

Резкое снижение этих потерь может быть достигнуто путем изменения конструкции ванн — улучшения их изоляции. В частности, поскольку свыше $\frac{1}{3}$ всех потерь составляют потери через поверхность электролита, большой эффект может дать применение закрытых ванн. Эта проблема еще не решена.

Суммарные удельные расходы. Удельный расход электроэнергии на единицу конкретной продукции определяется как сумма удельных расходов на все операции. В общем виде

$$W_n = \sum_1^n W_0,$$

где n — количество операций, необходимых для изготовления данной продукции.

Наряду с затратами энергии непосредственно на привод рабочих машин имеют место расходы на освещение, вентиляцию и привод вспомогательных механизмов. Абсолютная величина этих расходов полностью либо в основной своей части не зависит от использования оборудования. Удельные же величины изменяются обратно пропорционально выпуску продукции.

Расчет потребности в электроэнергии для данной группы токоприемников, характеризующийся обычно равномерным графиком потребления и высокими коэффициентами нагрузки, производится достаточно точно на основе данных об установленной мощности, коэффициентах нагрузки и продолжительности работы.

Только при таком методе определения $(W_n = \sum_1^n W_0)$ удельные расходы обоснованы и увязаны

с плановыми производственными показателями. При всех остальных методах нормы будут иметь формально-статистический характер.

Однако в практической работе составление и анализ таких норм часто вызывают большие за-

труднения (особенно при выпуске разнообразной продукции и большом количестве операций по изготовлению каждого вида ее).

С точки зрения сложности составления норм удельных расходов энергии все промышленные производства могут быть разбиты на несколько групп:

1. Однородная продукция при небольшом числе технологических операций по производству единицы данной продукции. К этой группе относятся почти все электроемкие производства, а также ряд других (алюминия, магния, ферросплавов, добыча нефти, бурение).

2. Однородная продукция при значительном количестве технологических операций (например добыча угля, металлических руд).

3. Несколько видов продукции или один вид с подразделением его на различные сорта различной электроемкости при ограниченном числе операций по производству каждой единицы продукции и одинаковом технологическом процессе их производства (например черная металлургия, производство бумаги, производство черновой меди, прядение и ткачество в текстильной промышленности).

4. Большой ассортимент продукции при большом количестве технологических операций по производству каждой конкретной единицы продукции. Наиболее ярким представителем этой группы является машиностроение. К этой же группе относятся некоторые отрасли пищевой, химической и легкой промышленности.

Определение и анализ удельных расходов электроэнергии для первой группы по формуле

$$W_n = \sum_1^n W_0$$

осуществимо очень легко. Детальный анализ W_0 для основной наиболее электроемкой операции позволяет (даже при приближенном определении удельных расходов по другим операциям) планировать удельные расходы, в точности соответствующие принятым на планируемый отрезок времени производственным показателям и мероприятиям по рационализации электрохозяйства.

Специфические особенности планирования удельных расходов второй группы (горнодобывающей промышленности) заключаются в том, что расходы, непосредственно связанные с добычей, имеют небольшой удельный вес в энергетическом балансе предприятия. Основной расход падает на различные виды транспорта и машины, связанные с созданием условий для добычи (вентиляция, водоотлив). По своей величине эти расходы связаны с природными факторами (глубиной шахт, величиной газового фактора, коэффициентом водообильности и т. п.).

Расчет расходов энергии по этим составляющим производится по специальным формулам. Они для данной шахты являются постоянными. Поэтому, несмотря на однородность выпускаемой продукции, планирование удельных расходов для этой группы значительно сложнее, чем для первой.

Планирование удельных расходов электроэнергии для третьей группы производств в силу ограниченного количества видов продукции (или сорта-

мента одного вида продукции) при небольшом количестве операций, осуществляемых на мощных или однородных агрегатах, также вполне осуществимо.

Так например, в бумажной промышленности отдельные сорта бумаги отличаются друг от друга преимущественно по содержанию древесной массы и целлюлозы, а также по некоторым дополнительным операциям. Поэтому, имея анализы энергобалансов дефибреров, бумажных машин и некоторых других аппаратов, можно точно определять удельные расходы. Отдельные бумажные фабрики специализированы — выпускают ограниченное количество сортов, что облегчает нормирование удельных расходов.

Наиболее сложно решается проблема нормирования удельных расходов для четвертой группы, особенно для машиностроения, так как здесь имеет место большое количество типов, выпускаемых данным заводом, большое количество операций по производству каждой конкретной единицы продукции, изменение типа (конструкции машин) во времени и изменение технологического процесса. Все эти факторы затрудняют и нормирование и анализ динамики удельных расходов энергии. Вследствие этого именно для машиностроительной промышленности характерна практика планирования удельных расходов не на единицу конкретной продукции, а на другие показатели объема производства.

Если в таких отраслях, как текстильная промышленность, прокатные цехи, возможно такое соизмерение различных сортов данного вида продукции, которое соответствует сравнительной энергоемкости этих сортов, то в машиностроении соизмерение в силу неоднородности оборудования, различия в количестве и качестве технологических операций и их многообразия практически невозможно.

Соизмерение здесь мыслимо путем характеристики общего объема производства следующими показателями: а) условным выражением продукции через постоянные коэффициенты соизмерения (продукция в твердых ценах, нормированных человеко-часами, нормированных станко-часами, нормированной энергоемкости); б) конкретной обобщенной характеристикой работы предприятия за отчетный или планируемый отрезок времени: отработанные или планируемые (с учетом повышения производительности труда) человеко-часы или станко-часы.

Нетрудно показать несостоятельность такого соизмерения для целей планирования и анализа удельных расходов электроэнергии.

При ценностном выражении продукции в неизменных ценах удельный расход электроэнергии

$$W_n = \frac{W}{\Sigma s_0 q} = \frac{\Sigma W_q q}{\Sigma s_0 q} = \frac{\Sigma \frac{W_q}{s_0} s_0 q}{\Sigma s_0 q}, \quad (12)$$

где W_q — удельный расход энергии на единицу продукции каждого вида;

q — количество разных видов продукции в натуральном выражении;

s_0 — неизменная цена единицы продукции каждого вида.

Как видно из формулы (12), W_n представляет собою средневзвешенный по $s_0 q$ расход энергии падающий на единицу оценки продукции.

В цене единицы продукции отражается не только объем работы, выполненной в пределах данного предприятия, но и объем затрат предшествующих стадий обработки.

Отсюда при неизменности W_q возможны колебания W_n в зависимости от изменений в составе продукции.

Возможны и колебания другого порядка, зависящие не от способа взвешивания, а от способа построения основной величины $\frac{W_q}{s_0}$. При любом изменении объема операций по изготовлению данного вида продукции будет изменяться W_n , при неизменной (или незначительных изменениях) цене s_0 .

Если продукция выражается в текущих ценах, то будет иметь место еще большая несопоставимость удельных расходов энергии при анализе их динамики.

Удельный расход на продукцию, выраженную в нормированных (и неизменных) затратах труда, выразится формулой:

$$W_{tcp} = \frac{W}{\Sigma t_0 q} = \frac{\Sigma W_t q}{\Sigma t_0 q} = \frac{\Sigma \frac{W_t}{t_0} t_0 q}{\Sigma t_0 q}, \quad (13)$$

где t_0 — норма затраты труда на единицу продукции каждого вида.

Этот расход равен средневзвешенному по $t_0 q$ фактическому расходу энергии на единицу нормы времени.

При изменении структуры продукции и в этом случае удельные расходы в динамике будут несопоставимы, так как уровень энергоемкости отдельных видов продукции может не совпадать с уровнем их трудоемкости.

Однако этот показатель более устойчив, чем показатель на единицу продукции, так как существует более тесная связь между энерго- и трудоемкостью продукции (в пределах данного предприятия), чем между энергоемкостью и ценой единицы продукции (так как последняя зависит от затрат труда на всех предыдущих стадиях изготовления).

Если измерять объем производства не в нормированных неизменных затратах труда, а в фактических, мы получим наименее сопоставимый в динамике показатель удельных расходов, так как производительность труда растет, а следовательно затраты труда падают значительно быстрее, чем снижается, при неизменном технологическом процессе, энергоемкость продукции.

Удельные расходы электроэнергии на станко-час также не позволяют анализировать динамику удельных расходов. Из анализа энергобаланса операции (при процессах механической технологии) видно, что удельный расход на станко-час зависит от выпуска продукции на станко-час $W_{\text{ст}} = a_0 + a_1 x$.

Удельный расход на станко-час без учета выпуска продукции $W_{\text{ст}} = \frac{W}{N}$, где N — число станко-часов, отработанных (или планируемых) по дан-

ному предприятию, не дает правильного представления о динамике удельных расходов.

Действительно, если на предприятии не выполняются нормы выработки, то удельные расходы на станко-час снижаются (в силу уменьшения x). Но это снижение — отрицательный фактор. Ему соответствует увеличение фактического удельного расхода энергии на единицу конкретной продукции. Поэтому характеристика объема производства по станко-часам вне связи с показателями использования оборудования, что характеризуется величиной x , не может служить исходной величиной при планировании удельных расходов в машиностроении.

Приведенные соображения показывают, что и в машиностроении планирование удельных расходов должно вестись на конкретную продукцию.

В основу же определения норм расхода на отдельные операции можно положить описанные выше энергетические характеристики отдельных операций. Ввиду многочисленности необходимых характеристик можно пользоваться и более обобщенными, но достаточно дифференцированными данными удельных расходов на отдельные операции или их группы. Особенно легко такое упрощение достигается при массово-поточном характере производства (автотракторная промышленность, вагоно- и паровозостроение) в силу ограниченности ассортимента и постоянства структуры операций.

Нормирование удельных расходов на операции может производиться на базе анализа отчетных удельных расходов и их корректировки в соответствии с намечаемыми на планируемый период изменениями технологического, организационно-производственного и тому подобного характера.

Для определения и анализа отчетных удельных расходов по отдельным операциям должен быть поставлен учет потребления электрической энергии по соответствующим группам оборудования. По этим же группам оборудования должен быть поставлен учет станко-часов и выпуска продукции.

При наличии такого дифференцированного учета возможен анализ динамики средних удельных расходов по группе оборудования по формуле

$$W_{\text{ср}} = \frac{a_{0\text{ср}}}{x_{\text{ср}}} + a_{1\text{ср}},$$

где $a_{0\text{ср}}$ — средняя мощность холостого хода одного станка;

$x_{\text{ср}}$ — средний выпуск деталей на 1 станко-час;

$a_{1\text{ср}}$ — средний полезный расход на 1 деталь.

Метод построения этой характеристики тот же, что и для отдельного станка.

Практически, однако, учет расхода энергии по группам оборудования будет затруднен, так как часто распределительные шины расположены перпендикулярно расположению одноименного оборудования.

Так как соотношение (структура) операций и деталей, выпускаемых данным цехом, остается неизменным, то энергоемкость средней детали, выпускаемой данным цехом, подвергается колебаниям только вследствие изменения $x_{\text{ср}}$ и показателей режима.

Поэтому можно анализировать средние удельные расходы по цеху по формуле:

$$W_n = \frac{W_n}{n} + \frac{a_{0\text{ср}}}{x_{\text{ср}}} + a_{1\text{ср}},$$

где W_n — постоянные расходы электроэнергии по цеху;

n — выпуск продукции, а $a_{0\text{ср}}$, $x_{\text{ср}}$ и $a_{1\text{ср}}$ являются средними величинами не по группе оборудования, а по цеху.

Подставляя в эту формулу значения n и $x_{\text{ср}}$, намечаемые на планируемый период, можно определить изменение средних удельных расходов по цеху в связи с изменением величин T_p и $T_{ш}$.

Экономия энергии от изменения режимов резания, рационализации привода и сетевого хозяйства от мероприятий по экономии металла и других рационализаторских мероприятий может быть определена специальными расчетами в соответствии с принятым для того же периода планом рационализаторских работ. В результате определения этой экономии могут быть внесены дальнейшие коррективы в отчетные нормы.

На ряде металлообрабатывающих заводов имеет место выпуск однородной продукции, различающейся по типам и размерам, при большом количестве различных типов и большом количестве операций по изготовлению единицы продукции.

В силу большого количества типов однородной продукции изменение структуры продукции в различные месяцы не должно влиять на среднюю энергоемкость деталей. Поэтому здесь анализ и нормирование удельных расходов могут быть произведены теми же методами.

Телемеханика на канале Волга—Москва

А. И. Лукне
Москва

В ПРОЦЕССЕ управления системой технических устройств и оборудованием, разбросанным на десятки и сотни километров, большое значение имеет применение автоматики и телемеханики. Только самая широкая автоматизация и телемеханизация централизованного управления гарантируют точность и четкость поддержания требуемого режима, без чего немислима работа системы.

Назначение устройств телемеханики в системе канала Волга — Москва: 1) автоматическая известительная сигнализация о всех переключениях аппаратов и агрегатов и изменении их режима работы; 2) посылка распорядительных сигналов для управления на расстоянии контролируемые установками.

На центральный диспетчерский пункт будут передаваться сигналы, извещающие о включении и выключении масляных выключателей 110,35 и 6 kV, пуске и остановке агрегатов и колебаниях уровня отдельных бьефов и т. п. С диспетчерского пункта будет осуществляться распорядительная телепередача.

Устройство телеуправления и телесигнализации разработано Центральной лабораторией и экспериментальными мастерскими (ЦЛЭМ) Мосэнерго по времени-импульсному принципу (схема инж. Р. Л. Райнес).

Система была проверена на опытных установках и лабораторном макете и показала свою жизнеспособность. Действие устройства телеуправления, работающего на время-импульсном принципе, изображено на рис. 1. На схеме указаны контролируемый и контролирующий пункты, связанные двухпроводной линией. Органами приема служат линейные реле 1Л и 2Л, приключенные к концам линии связи. Посылаются короткие и длинные импульсы, генерируемые пульспарами 1П. Короткие импульсы продолжительностью 80 м sec являются синхронизирующими, т. е. поддерживающими движение искателей на обеих сторонах. Продолжительные импульсы, 400 м sec, осуществляют выбор объекта на приемном конце.

Импульсы движения совмещены с импульсами селекции. Селекция осуществляется искателями II и III, к ламелям которых присоединены контролируемые объекты.

Например, для воздействия на объект 4 диспетчер нажимает кнопку *4КР*, приключенную к четвертой ламели искателя, и держит ее в нажатом состоянии. Одновременно нажимается безарретирная кнопка пуска *КП*. Пульспара начинает работать, замыкая и размыкая цепь искателя (Контакты *1ПХ₂*) и посылая одновременно короткие синхронизирующие импульсы в линии (контакты *1ПХ₄* и *1ПХ₅*). Электромагнит искателя *1И* притягивает якорь искателя, связанный через храповой механизм со щетками. Во время паузы электромагнит обесточивается, якорь отпускается и щетки переходят на следующий контакт. На приемном конце линии, на контролируемой установке, эти импульсы принимаются линейным реле *2Л*, замыкающим и размыкающим цепь электромагнита искателя *1И*. Движение щеток *1И* в *1И* будет синхронно и синфазно.

При достижении ламели 4 щетки искателя замыкают цепь реле 1В, воздействующего на пульспару 1П. Контакты 1В, имеющие выдержку времени на размыкание, длительно замыкают цепь 1ПХ, в результате чего пульспара посылает в линию более длительный импульс. Благодаря воздействию на 2Л длительного импульса искатель контролируемого пункта задерживается на четвертом шаге. Реле 2В₂ на подстанции обесточивается (так как размыкаются контакты 2Л_{1/2} линейного реле 2Л) и замыкает свои размыкающие контакты 2В₁, имеющие выдержку на замыкание. Включается катушка реле 4Н₂, контакты которой готовят цепь для выполнения заданной операции, — цепь 4ТВ. После перехода щетки на пятый контакт реле 4Н₂ остается заблокированным. Цепь разорвется контактом реле 1У, после того как щетка отойдет от последнего контакта (реле 1У присоединено к последней ламели искателя Шив). Операция включения 4ТВ осуществляется лишь по разрешению реле исполнения

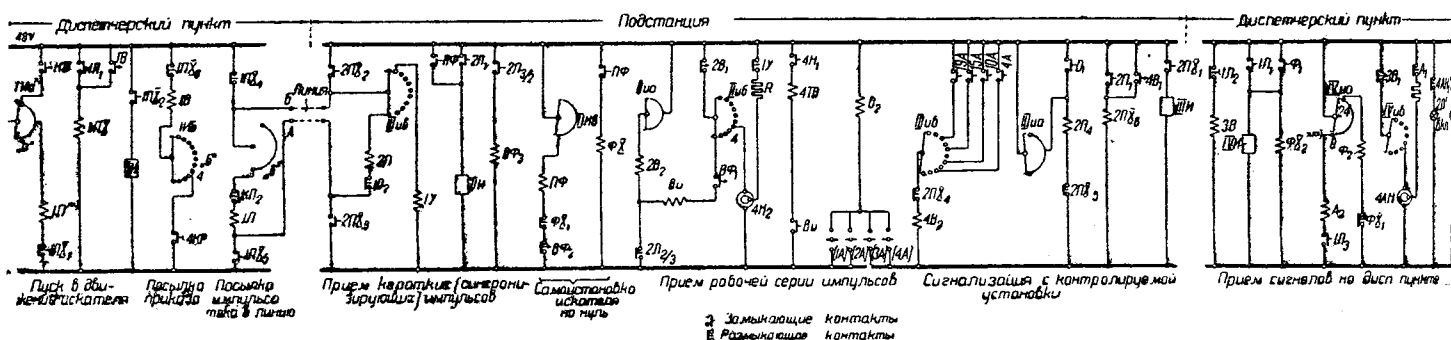


Рис. 1. X) — щетка блокирует кнопку КП; XX) — 1П и 1ПХ составляют пульсару; XXX) — ΦX_2 и Φ_3 — пульспара

Ви (реле Ви оживляется лишь в том случае, если щетка искателя *Ииб* в конце цикла без боя дойдет до конца). Если искатель *III* не дойдет до нулевого контакта, он устанавливается на нуль автоматически и дается сигнал диспетчеру. *2Л₁* размыкается длительно, *ВФ₃* обесточивается, контакты *2Ф₂* замыкаются и через остановившееся на замкнутном круге щетки *Иив* замкнется цепь *ПФ*. Образуется пульспара *ПФ—ФХ*, которая доводит искатель *III* до нуля.

Для системы характерно наличие защиты по сумме импульсов. Срабатывание исполнительного аппарата *4ТВ* произойдет только после выполнения операции проверки правильности прихода импульсов. Так как сумма импульсов должна равняться 25, — с последним импульсом щетки искателя должны встать на нулевой контакт (обесточится *2В₂* и оживится *Ви*).

Необходимо отметить, что в случае прекращения поступления импульсов с линии нарушения передачи, контакт *2Л₁* отпадает, реле *ВФ₃* обесточивается, *ВФ₁* размыкается. Таким образом при самоустановке на нуль с помощью пульспары *Ви* не возбуждается (из-за разрыва цепи контактами *ВФ₁*), ошибочное включение не произойдет.

Аналогично осуществляется телесигнализация на диспетчерский пункт, с той лишь разницей, что роль кнопок исполняют контакты на приводе масляного выключателя или другого аппарата. После переключения какого-либо аппарата сидящий на нем контакт *А* замыкается на короткое время. Например, в момент замыкания аппарата *4А* установленный на нем проскакивающий контакт *4А*, переключаясь, возбуждает реле *D₂*, а контакт *4А* подаст минус 48 В на четвертый контакт искателя *Ииб*. Реле *D₂*, возбуждвшись, замыкает контакт *D₁*, цепь реле *2П₄*, составляющего вместе с *2ПХ₆* пульспару, и размыкает контакты *1D₂* (цепь линейного реле *2Л*). Пульспара приведет в движение искатель *III*. В линию будут посылаться короткие импульсы. Когда щетка круга *Ииб* дойдет до четвертого контакта, связанного с аппаратом *4А*, замкнется цепь реле *4В*, контакты которого включают катушку *2ПХ₆* (длительно, так как *4В* имеет выдержку на размыкание, искатель будет длительно задержан на этом шаге), — в линию будет послан длинный импульс.

Линейное реле диспетчерского пункта *1Л* получает от подстанции импульсы и пульсирует той же частотой. Контакты *1* и *3* замыкаются, контакт *2* размыкается. При получении длинного импульса, например, на четвертом шаге, реле *1Л* длительно возбуждается, контакт его *1Л₂* длительно размыкается, реле *3В* обесточивается, получается замкнутая цепь: — 48 В, *3В₁*, щетка искателя *IVиб*, внешняя обмотка *4АН*, + 48 В. Притягивается якорь и остается притянутым до следующего хода искателя. *4АН* через свой контакт *4АН₁* замыкает сигнальную цепь, переключая лампу с одного цвета на другой. Если искатель *IV* не дошел до своего нулевого контакта, должна притти в действие местная пульспара *ФХ₂* и *Ф₂*.

Для телеуправления некоторыми установками из центрального диспетчерского пункта принято радиальное расположение (4 жилы кабеля 2 мм²,

из них 1 жила общая). В качестве резерва служит обратный провод телеизмерения.

Устройство рассчитано на 170 распорядительных и 683 известительных сигнала. Количество реле доведено до 2,3 реле на сигнал.

Схема рис. 1 дает представление о принципе действия. На схеме не указан ряд усовершенствований, внесенных лабораторией, как посылка импульсов меняющейся полярности, применение поляризованных реле, контроль правильности приходящих сигналов на диспетчерский пункт, сигнал о появлении земли и т. д.

Устройство собрано из телефонных реле и искателей нового типа (с «врубающими» контактами) завода «Красная заря».

Телеизмерение. Для устройств телеизмерения напряжения, мощности, частоты и неэлектрических величин был принят частотно-импульсный принцип. Исходным измерительным прибором является счетчик с простым прерывателем, посылающим импульсы в линию (5—6 импульсов в секунду). Прибор очень прост и не требует ухода; он себя хорошо зарекомендовал в установках Мосэнерго. В зависимости от рода связи между передающим и приемным концом линии действие прерывателя может быть использовано для непосредственного прерывания цепи постоянного тока или низкой несущей частоты переменного тока. Приемник представляет собою новое устройство Мосэнерго, работающее на релейном принципе.

Для электрического измерения неэлектрических величин, кроме сельсинов (ОЛИЗ), разработаны по заданию строительства Институтом телемеханики в Ленинграде (инж. Гаркуша) измерители угла и уровня.

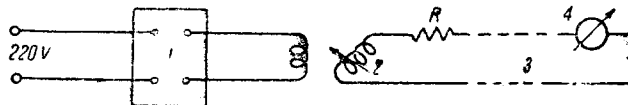


Рис. 2. Телеизмеритель угла. 1 — стабилизатор напряжения; 2 — датчик; 3 — линия; 4 — приемник

Измеритель угла представляет собой в принципе рамку, помещенную в переменный магнитный поток (рис. 2). Электродвижущая сила, индуцированная в рамке и зависящая по величине от положения рамки относительно потока, передается на приемный прибор. Основной частью телеизмерителя является нормальный электродвигатель мощностью 6 Вт, ротор которого для получения прямолинейной характеристики (э. д. с. от угла поворота) несколько переделан. Статор может быть укреплен на оси ворот и вращаться с ними, ротор покоится на опорном подшипнике. Дальность передачи — 1 ÷ 2 км; ток — 0,5 А. Для целей измерения угла этот прибор имеет ряд преимуществ по сравнению с другими системами. Он требует только двух проводов и дает возможность суммировать показания (что исключено при применении приборов системы Сельсин, Гейгера, Брауна).

Телеизмеритель уровня воды системы НИИТ (инж. Гаркуша) работает без поплавков, используя принцип ртутного манометра. При изменении уровня ртуть в U-образной трубке, колене, сое-

динетной с измеряемым бьефом, перемещается, замыкая то или иное число контактов, шунтируя тем самым соответствующее сопротивление, вследствие чего изменяется ток в цепи приемного прибора (рис. 3 и 4). Прибор проградуирован в сантиметрах уровня воды. Последняя секция взята с большим сопротивлением, чем предыдущие. Введение в цепь первой секции переводит стрелку приемника на зеленую черту, что указывает на понижение горизонта воды ниже нулевого уровня.

Уплотнение связи. Для многократной передачи по линии связи применено устройство на подтональных частотах (100 и 200 Hz).

Такого рода устройство на подтональных частотах 50—100—200 Hz является первым и единственным в СССР.

В выпущенном комитетом по автоматике и те-

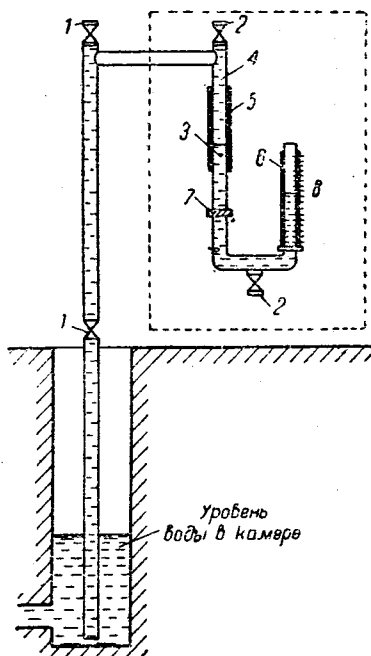


Рис. 3. Телеизмеритель уровня воды. 1 — кран; 2 — пробка; 3 — ртуть; 4 — вода; 5 — стекло; 6 — гетинакс; 7 — изоляция; 8 — контакты

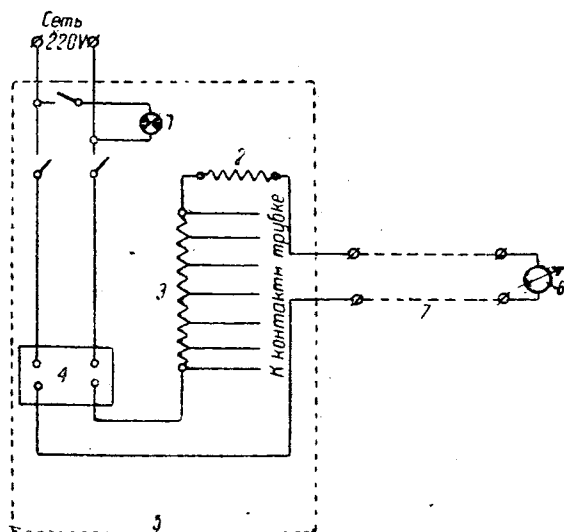


Рис. 4. Схема телеизмерителя уровня воды. 1 — осветительная лампа; 2 — балластное сопротивление; 3 — секционированная катушка сопротивления; 4 — стабилизатор напряжения; 5 — дающий прибор; 6 — приемный прибор; 7 — линия передачи

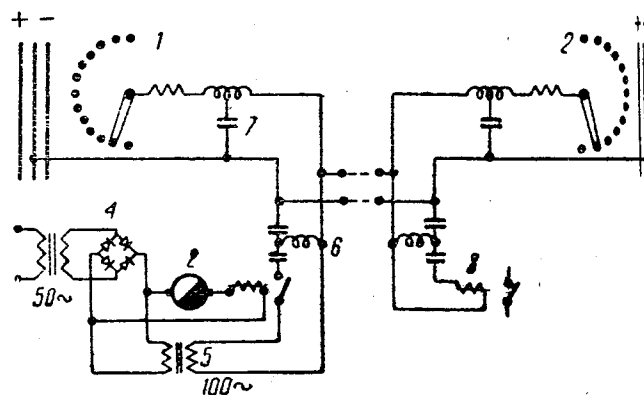


Рис. 5. Передача телеуправления и телеизмерения по одной линии. 1, 2 — передатчик и приемник телеуправления; 2, 3 — передатчик и приемник телеизмерения; 4 — выпрямитель; 5 — трансформатор 100 пер.; 6 — фильтр постоянного тока; 7 — фильтр переменного тока

лемеханике при Главэнерго и Всесоюзным Советом научно-инженерных технических обществ альбоме типовых схем телеуправления и телеизмерения в энергетических системах (изд. 1934 г.) дана схема уплотнения линии связи путем применения подтональной частоты (рис. 5). В условиях работы сооружений канала Волга — Москва наиболее приемлемым методом является метод с несущей частотой, обеспечивающий максимальную устойчивость и простоту, достигнуто 4,5-кратное уплотнение (9 каналов связи на 4 провода).

Генерирование несущей частоты производится простым умножением промышленной частоты. Достигается это методом удвоения частоты с помощью статических устройств по схеме двухполупериодных выпрямителей с купроксными диодами. Работа схемы заключается в следующем (рис. 5): переменный ток частоты 50 Hz и напряжения 110 V поступает в обмотку трансформатора 110/18 V, питающего купроксные выпрямители по схеме Греча. Выпрямленный ток поступает во второй трансформатор; выпрямленный двухполупериодный ток разлагается на две составляющих: постоянную и переменную — ток 100 Hz. Для получения 200 Hz к трансформатору подводится ток в 100 периодов.

Оснащение диспетчерской службы устройствами автоматики и телемеханики должно стать одним из наиболее мощных факторов реконструкции водного транспорта. Прибегая к помощи телефона только в редких случаях, пользуясь визуальной передачей, водный диспетчер должен получить возможность следить за движением флота, ходом грузовых операций, вести графики движения, паспортизацию флота, пути пристыней, учет простоев, составлять план расстановки и приема судов.

Разработка вопроса диспетчерской службы водного транспорта активом московского Дома ученых показала, что телемеханика может и должна стать союзником водного диспетчера в его борьбе с пространством. Устройства телесигнализации, установленные на гаванях, шлюзах, длинных бьефах и центральном диспетчерском пункте должны облегчить: 1) ведение точного учета времени, затрачиваемого на операции по пропуску

судов через шлюзы и на движение флота по бьефам; 2) наблюдение за соблюдением заданного графика. Телемеханически передаются: номер воза, номер баржи, количество тонн груза, начало шлюзования, конец шлюзования. По одной паре проводов осуществляется визуальная телепередача известительных и распорядительных сигналов. На щите у диспетчера наносится мнемоническая схема (макет пути — световое табло), дающая картину занятия флотом пути, причалов, шлюзов. На щите также отображаются номера судов, тоннаж, отметки горизонта. При помощи

телевизора можно осуществить наблюдение за формированием возов и за погрузочными операциями.

Проблема телемеханизации диспетчерской службы является одной из ведущих в организации управления энергетическими системами и водным транспортом. Попытка раскрыть ее в рамках строительства канала Москва — Волга показала, что наша промышленность и наши институты и лаборатории имеют все технические возможности для разрешения поставленных перед ними задач.

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Основные уравнения переходных процессов синхронной машины

А. А. Горев

Ленинградский индустриальный институт

ПЕРЕХОДНЫЕ процессы синхронной машины хорошо изучены для тех случаев, когда можно допустить, что угловая скорость ротора в течение этих процессов остается постоянной, т. е. если можно пренебречь влиянием скольжения ротора и явлениями, им вызываемыми.

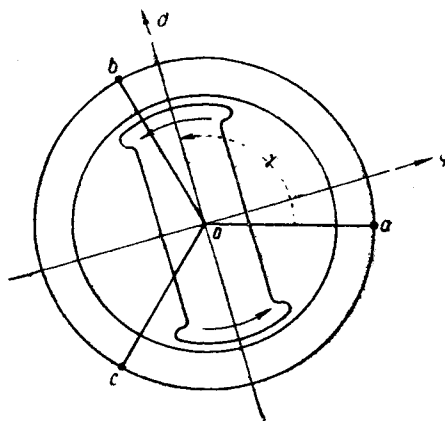
Однако во многих случаях такое пренебрежение невозможно. Так например, во всех случаях, когда нас интересует устойчивость параллельной работы машины, явление скольжения играет основную роль; в таких случаях приходится изучать переходный процесс с учетом влияния смещения ротора в его положении по отношению к вектору, вращающемуся с постоянной угловой скоростью, а равно и влияния скорости ротора в этом относительно его движении, т. е. скольжения.

Для решения подобных задач необходимо исходить из общих дифференциальных уравнений переходного процесса, включающих в качестве одной из переменных угол, определяющий положение ротора в его относительном движении. Вывод этих уравнений и составляет задачу настоящей статьи.

Рассмотрим трехфазную синхронную машину, фазные обмотки которой симметричны и расположены на неподвижной части — статоре, как показано на рис. 1, где лучи oa , ob и oc изображают неподвижные направления их магнитных осей. Ротор машины будем считать двухполюсным; ось, совпадающую с магнитной осью полюсов, назовем продольной осью и обозначим индексом d , а ось, перпендикулярную к ней, — поперечной осью, обозначая относящиеся к ней величины индексом q . Направление вращения ротора считаем положительным, когда он вращается против стрелки часов. Приписывая оси od направление магнитного поля, созданного положительным током возбуждения, будем считать положительным то на-

правление оси oq , которое отстает от положительного направления od на 90° .

В целях сокращения изложения мы ограничимся рассмотрением случая ротора с одной обмоткой на нем; однако распространение метода на случай любого числа обмоток не представляет затруднений.



В основу анализа переходных процессов мы положим допущение линейной зависимости потокоцеплений (звеньев) контуров машины от протекающих по ним токов, пренебрегая явлениями магнитного насыщения.

Если Φ_k — звеньевы контуров и i_k — токи в них, то

$$\left. \begin{aligned} \Phi_a &= L_{aa}i_a + M_{ab}i_b + M_{ac}i_c + M_{ar}i_r, \\ \Phi_b &= M_{ba}i_a + L_{bb}i_b + M_{bc}i_c + M_{br}i_r, \\ \Phi_c &= M_{ca}i_a + M_{cb}i_b + L_{cc}i_c + M_{cr}i_r, \\ \Phi_r &= M_{ra}i_a + M_{rb}i_b + M_{rc}i_c + L_{rr}i_r. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Коэффициенты L в этих формулах за исключением L_r — коэффициента самоиндукции контура ротора, который вследствие симметрии статора мы можем считать постоянным, — равно как и коэффициенты M являються, вообще говоря, довольно сложными функциями положения ротора.

Определим это положение углом γ , составляемым осью od с осью oa , и рассмотрим сначала коэффициенты взаимной индукции ротора и фазных обмоток статора: M_{ra} , M_{rb} , M_{rc} .

Они являются периодическими функциями угла γ с периодом 2π и разлагаются, следовательно, в ряды Фурье по дугам, кратным дуге γ . В разложении M_{ra} вследствие независимости его величины от знака γ синусоидальные члены отсутствуют. Далее, при повороте ротора из некоторого положения, заданного углом γ , на угол π поток, пронизывающий контур фазы a , будет иметь ту же абсолютную величину, но обратное направление; поэтому четные гармоники в разложении будут равны нулю. Следовательно, можно положить:

$$M_{ra} = M_1 \cos \gamma + M_3 \cos 3\gamma + \dots$$

Индуктированная в контуре фазы a э. д. с. при постоянном i_r пропорциональна

$$M_1 \sin \gamma + 3M_3 \sin 3\gamma + \dots$$

Допуская, что она синусоидальна, что может быть сделано для большинства современных машин, мы тем более можем принять, что

$$M_{ra} = M_1 \cos \gamma, \quad (2)$$

допуская высшие гармоники в разложении.

Выражения для M_{rb} и M_{rc} будут соответственно:

$$M_{rb} = M_1 \cos \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right); \quad M_{rc} = M_1 \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right). \quad (2')$$

Коэффициенты самоиндукции обмоток статора L_a , L_b и L_c в явнополюсной машине суть также периодические функции угла γ ; их период равен, однако, π . Вследствие этого они должны быть разложимы в ряды Фурье по дугам, кратным 2γ ; так как они, кроме того, от знака γ не зависят, можно для L_a , например, принять такое разложение:

$$L_a = L_0 + L_2 \cos 2\gamma + L_4 \cos 4\gamma + \dots$$

Догерти и Найкл¹ показали, что коэффициенты четвертого и высших порядков в этом разложении малы и не оказывают влияния на амплитуду э. д. с. основной частоты; поэтому мы принимаем:

$$L_a = L_0 + L_2 \cos 2\gamma.$$

Выражения для L_b и L_c получаются, как и вообще в дальнейшем, заменой γ соответственно на

$$\gamma - \frac{2\pi}{3} \quad \text{и} \quad \gamma + \frac{2\pi}{3}.$$

Назовем значения L_a при $\gamma = 0$ и $\gamma = \frac{\pi}{2}$ соответственно L_d и L_q , так что $L_d = L_0 + L_2$; $L_q = L_0 - L_2$.

Тогда

$$L_a = L_d \cos 2\gamma + L_q \sin^2 \gamma. \quad (3)$$

¹ Doherty and Nikle, Synchronous Machines. Trans. AIEE, June 26, p. 321.

Взаимоиндуктивности фазных обмоток M_{ab} , M_{ba} и т. д. вследствие взаимности попарно равны и должны быть периодическими функциями угла с периодом π , т. е. должны разлагаться в ряды Фурье по дугам, кратным дуге 2γ . Коэффициент M_{ab} будет четной функцией от угла γ , образуемого осью ротора с осью, делящей пополам угол между oa и ob , следовательно,

$$M_{ab} = M_0 + M_2 \cos 2\gamma + M_4 \cos 4\gamma + \dots$$

Пренебрегая в этом разложении членами четвертого и высших порядков на том же основании, что и в случае L_a , и подставляя $\gamma' = \gamma - \frac{\pi}{3}$ получим:

$$M_{ab} = M_0 + M_2 \cos \left(2\gamma - \frac{2\pi}{3} \right).$$

Называя через M_d и M_q значение M_{ab} при $\gamma = 0$ и при $\gamma = \frac{\pi}{2}$, т. е. полагая

$$M_d = M_0 - \frac{1}{2} M_2, \quad M_q = M_0 + \frac{1}{2} M_2,$$

после простых преобразований получим:

$$M_{ab} = -2 \left[M_d \cos \gamma \cos \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) + M_q \sin \gamma \sin \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) \right]. \quad (4)$$

Путем замены γ на $\gamma - \frac{2\pi}{3}$ и $\gamma + \frac{2\pi}{3}$ найдем со-

ответственные выражения для M_{bc} и M_{ca} .

При допущении синусоидальной зависимости коэффициентов M_{ra} , M_{rb} и M_{rc} от угла γ распределение м. д. с., созданной током в одной из фазных обмоток по расточке статора, будет тоже синусоидальным; при этом поле магнитной силы в отверстии статора должно быть равномерным и при наличии одинаковых токов во всех трех фазах их поля должны взаимно уничтожать друг друга. Следовательно, звенность контура фазы при наличии токов в фазах, равных единице, может зависеть только от тех, связанных с этой фазой потоков, пути которых не проходят через отверстие статора. Влияние положения ротора на эту звенность значительным быть не может, поэтому естественно принять, что величина Φ_a равная в этом случае

$$L_a + M_{ab} + M_{ac}.$$

от положения ротора не зависит. Подставляя сюда выражения (3) и (4), получим для Φ_a такое соотношение:

$$L_d + 2M_d = L_q + 2M_q = L_0^*, \quad (5)$$

где L_0^* — некоторая новая постоянная, определяющая, очевидно, реактивность фазной обмотки при нагрузке статора токами нулевой последовательности.

Совокупность положений, выраженных формулами (1) — (5), определяет упрощения, которые мы приписываем нашей машине для того, чтобы сделать изучение ее переходных процессов доступным для математического анализа; такую машину мы будем

в дальнейшем называть идеализированной машиной.

Трансформация координат. Введем вместо переменных i_a , i_b и i_c , которые в общем случае могут быть любыми функциями времени, три новых переменных, отвечающих особенностям симметрии нашей машины, помощью следующих линейных выражений²:

$$\left. \begin{aligned} i_0 &= \frac{1}{3}(i_a + i_b + i_c), \\ i_d &= \frac{2}{3}[i_a \cos \gamma + i_b \cos(\gamma - \rho) + i_c \cos(\gamma + \rho)], \\ i_q &= \frac{2}{3}[i_a \sin \gamma + i_b \sin(\gamma - \rho) + i_c \sin(\gamma + \rho)]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Так как определитель этой трансформации равен $-\frac{3\sqrt{3}}{2}$, т. е. он не равен нулю, переменные i_0 , i_d и i_q связаны с переменными i_a , i_b и i_c взаимно однозначно; решение уравнений (6) относительно неизвестных i_0 , i_b и i_c будет:

$$\left. \begin{aligned} i_a &= i_0 + i_d \cos \gamma + i_q \sin \gamma, \\ i_b &= i_0 + i_d \cos(\gamma - \rho) + i_q \sin(\gamma - \rho), \\ i_c &= i_0 + i_d \cos(\gamma + \rho) + i_q \sin(\gamma + \rho). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

i_0 есть одна треть тока в нейтральной точке машины [первая из формул (6)]. В системе с изолированной нейтралью i_0 тождественно равно нулю; в этом случае число новых переменных отвечает числу степеней свободы системы. Если положить в формулах (7) $i_0 = 0$ и $i_q = 0$, то токи в фазах будут проекциями вектора длиной i_d , направленного по продольной оси ротора и вращающегося вместе с ним, на магнитные оси фаз. Соответственно, в случае $i_0 = 0$ и $i_d = 0$ токи фаз будут проекциями вектора длиной i_q , направленного вдоль поперечной оси ротора. В более общем случае, когда $i_0 = 0$, но i_d и i_q не равны нулю, токи в фазах будут проекциями на неподвижные оси вектора, равного геометрической сумме двух векторов, направленных по продольной и поперечной осям ротора.

Этот вектор можно в терминах векторной алгебры записать в форме:

$$i = i_d d + i_q q, \quad (8)$$

где d и q — орты, т. е. векторы длиной единица, имеющие направления осей od и oq .

Вектор i , заданный как функция времени, вполне изображает любую систему токов, подчиненных условию:

$$i_a + i_b + i_c = 0. \quad (9)$$

Токи i_a , i_b и i_c будут его проекциями на неподвижные оси фаз, тогда как токи i_d и i_q — проекции на вращающиеся оси ротора.

Когда токи фаз как функции времени, кроме условия (9), ничем не ограничены, вектор i будет со временем меняться не только по величине, но и по направлению относительно осей ротора. Введенная нами трансформация координат может быть описана как переход наблюдателя, изучающего движение вектора i , из неподвижного

положения, когда он следит за движением этого вектора по изменению его проекций на неподвижные оси, в положение, когда он жестко связан с ротором и изучает это движение, следя за изменением проекций вектора на вращающиеся оси ротора.

Вектор i можно определить его длиной i и углом μ , который он составляет с поперечной осью ротора; очевидно,

$$i = \sqrt{i_d^2 + i_q^2}; \quad \operatorname{tg} \mu = \frac{i_d}{i_q}; \quad (10)$$

неподвижной осью oa он составляет угол

$$\delta = \gamma + \mu - \frac{\pi}{2}. \quad (11)$$

В общем случае, когда условие (9) не наложено, переход от координат i_0 , i и μ к токам в фазах дается формулами:

$$\left. \begin{aligned} i_a &= i_0 + i \cos \delta; \quad i_b = i_0 + i \cos(\delta - \rho); \\ i_c &= i_0 + i \cos(\delta + \rho), \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где δ дано (11).

Отнесение системы токов к подвижным (вращающимся вместе с ротором) осям вводит значительные упрощения в изучение как стационарных, так и переходных явлений в машине. Из представления системы токов помощью вектора i видно непосредственно, что всякая симметричная тройка токов прямой последовательности изобразится постоянным вектором i , т. е. вектором, неподвижным относительно осей ротора, так что токи i_d и i_q будут в этом случае постоянными, не зависящими от времени, тогда как токи фаз в том же случае будут переменными.

Нетрудно убедиться в том, что симметричная тройка токов обратной последовательности также изобразится постоянным по величине вектором, вращающимся, однако, со скоростью $\dot{\gamma}$, т. е. в направлении, обратном направлению вращения ротора.

Дальше будет показано, как трансформация выражений (6) и (7) приводит к понятиям постоянных синхронных реактивностей явнополюсной машины, введенных А. Блонделем; естественно поэтому назвать эту трансформацию координат его именем.

Выражение потокосцеплений (звенностей) контуров машины через новые переменные может быть получено подстановкой в формулы (1) значений токов в фазах, данных уравнениями (2), (3) и (4). Преобразуя полученные выражения помощью тригонометрических тождеств и учитывая выражение (12), получим:

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= L_0^* i_0 + L_d^* i_d \cos \gamma + L_q^* i_q \sin \gamma + M i_r \cos \gamma, \\ \psi_b &= L_0^* i_0 + L_d^* i_d \cos(\gamma - \rho) + L_q^* i_q \sin(\gamma - \rho) + \\ &\quad + M i_r \cos(\gamma - \rho), \\ \psi_c &= L_0^* i_0 + L_d^* i_d \cos(\gamma + \rho) + L_q^* i_q \sin(\gamma + \rho) + \\ &\quad + M i_r \cos(\gamma + \rho), \\ \psi_r &= M^* i_d + L_r i_r. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

² ρ для сокращения письма принято $\frac{2\pi}{3}$

Значение L_0^* дано (12);

$$L_a^* = L_a - M_d; \quad L_q^* = L_q - M_q; \quad M^* = \frac{3}{2} M. \quad (14)$$

Параметры L_a^* и L_q^* могут быть названы трехфазными коэффициентами самоиндукции фаз статора для продольных и соответственно поперечных токов; M^* — трехфазный коэффициент взаимной индукции фаз.

Катушка индуктивности L представляет для переменного синусоидального тока i с угловой частотой ω реактивность $x = \omega L$, так как на такой катушке возникает э. д. с. самоиндукции.

$$e = - \frac{d\psi}{dt},$$

где ψ — потокосцепление катушки.

Формулы (13) показывают, что статор синхронно-вращающейся машины будет представлять:

для симметричной тройки токов нулевой последовательности реактивность нулевой последовательности

$$x_0 = \omega L_0^*, \quad (15)$$

где

$$\omega = \frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma};$$

для симметричной тройки токов прямой последовательности, изображающий вектор которой совпадает с продольной осью ротора, продольная синхронная реактивность

$$x_d = \omega L_d^*, \quad (15a)$$

для симметричной тройки токов прямой последовательности, изображающий вектор которой совпадает с поперечной осью ротора, поперечная синхронная реактивность

$$x_q = \omega L_q^*. \quad (15b)$$

Эти три параметра, вполне характеризующие реакцию статора при установившемся режиме работы, являются, как это следует из формул, определяющих параметры L_0^* , L_d^* и L_q^* , постоянными величинами.

Отметим, что при выводе уравнений (13) было предположено, что три контура фаз обладают полной трехфазной симметрией; это — существенное ограничение области применения нашего анализа.

Вывод дифференциальных уравнений переходного процесса. С точки зрения динамики рассматриваемая нами синхронная машина представляет собою систему, состояние которой может быть вполне определено значениями пяти переменных, заданных, как функции времени; именно, четырех токов в ее контурах: i_a , i_b , i_c , i_r и угла γ , определяющего положение ротора.

Для нахождения значений этих переменных в функции времени необходимо составить в общем случае пять дифференциальных уравнений.

Четыре уравнения мы можем получить, непосредственно применяя к четырем контурам машины закон Кирхгофа: сумма индуктированной в каждом из этих контуров э. д. с., внешней приложенной э. д. с. и обратной э. д. с., отвечающей омиче-

скому сопротивлению контура, должна быть равна нулю:

$$- \frac{d\psi_k}{dt} + e_k - r_k i_k = 0$$

или

$$\frac{d\psi_k}{dt} + r_k i_k = e_k, \quad k = a, b, c, r. \quad (16)$$

Рассмотрим сначала контуры фаз. Напишем выражение для их звенностей (13) в виде:

$$\psi_a = \psi_0 + \psi_d \cos \gamma + \psi_q \sin \gamma. \quad (17)$$

ψ_b и ψ_c получаются из этого выражения заменой на $\gamma - \rho$ и $\gamma + \rho$.

Здесь:

$$\psi_0 = L_0^* i_0; \quad \psi_d = L_d^* i_d + M i_r; \quad \psi_q = L_q^* i_q. \quad (17a)$$

Выполняя в формулах (16) дифференцирование по времени и внося в них вместо i_k выраженные токи фаз через токи i_0 , i_d и i_q (7), а вместо приложенных в контурах фаз э. д. с. e_a , e_b и e_c выражения через э. д. с. e_0 , e_d и e_q , данные теми же формулами (7) с заменой в них буквы i на букву e , получим:

$$\left. \begin{aligned} A + B \cos \gamma + C \sin \gamma &= 0, \\ A + B \cos (\gamma - \rho) + C \sin (\gamma - \rho) &= 0, \\ A + B \cos (\gamma + \rho) + C \sin (\gamma + \rho) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A &= \dot{\psi}_0 + r i_0 - e_0, \\ B &= \dot{\psi}_0 + \dot{\gamma} \psi_q + r i_d - e_d, \\ C &= \dot{\psi}_q - \dot{\gamma} \psi_d + r i_q - e_q; \end{aligned} \right\} \quad (18a)$$

при этом в согласии с допущением полной симметрии контуров фаз принято:

$$r_a = r_b = r_c = r. \quad (18b)$$

Так как равенства (18) должны быть выполнены тождественно, т. е. при любых значениях угла γ и так как определить их $\left(-\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)$ не равно нулю, из них следует, что $A=0$; $B=0$ и $C=0$, что и дает нам первые три дифференциальных уравнения переходного процесса в переменных i_a и i_q . Эти уравнения можно записать в виде.

$$\left(r + L_0^* \frac{d}{dt}\right) i_0 = e_0, \quad (19a)$$

$$\left(r + L_d^* \frac{d}{dt}\right) i_d + \dot{\gamma} L_q^* i_q + M \frac{d}{dt} i_r = e_d, \quad (19b)$$

$$-\dot{\gamma} L_d^* i_d + \left(r + L_q^* \frac{d}{dt}\right) i_q - M \dot{\gamma} i_r = e_q. \quad (19c)$$

Четвертое уравнение получится применением (16) к контуру ротора:

$$M^* \frac{d}{dt} i_d + \left(r_r + L_r^* \frac{d}{dt}\right) i_r = e_r. \quad (19d)$$

Эти четыре уравнения определяют протекание электромагнитных процессов в машине во время переходных ее режимов; они могут непосредственно применяться для анализа тех явлений, во время которых угловая скорость ротора постоянна или является наперед заданной функцией

ней времени, в таких случаях уравнения (19) являются линейными уравнениями с постоянными или соответственно заданными в функции времени коэффициентами и отличными от нуля последними членами.

Однако переходный электромагнитный процесс в машине всегда связан с изменением момента электромагнитных сил, действующих на ротор, вследствие чего движение ротора отличается от равномерного, поэтому в общем случае скорость ротора $\dot{\gamma}$, входящая в уравнения (19), должна рассматриваться как производная от пятой неизвестной нам переменной; для полного определения процесса необходимо, таким образом, еще одно уравнение.

Проще всего это уравнение получается применением к нашей задаче уравнений Лагранжа во второй их форме, однако возможно получить его непосредственно из закона сохранения энергии. Ограничимся изложением этого последнего метода.

Мощность P , вводимая в нашу систему через вал ротора, равная моменту внешних приложенных механических сил M_{om} , умноженному на угловую скорость $\dot{\gamma}$, расходуется: 1) на изменение живой силы ротора в количестве $\frac{dT_m}{dt}$, где T_m — живая сила ротора и связанных с ним вращающихся масс; 2) на увеличение запаса электромагнитной энергии системы T_e в количестве $\frac{dT_e}{dt}$; 3) в контурах статора и контуре ротора эти мощности равны индуцированным в этих контурах э. д. с., умноженным на токи в них; их сумма будет:

$$-\sum_k \dot{\psi}_k i_k, \quad k = a, b, c, r.$$

Выражая этот баланс мощностей в машине алгебраически, получим:

$$P = \frac{dT_m}{dt} + \frac{dT_e}{dt} - \sum_k \dot{\psi}_k i_k; \quad k = a, b, c, r. \quad (20)$$

Наша синхронная машина представляет собой систему четырех магнитно связанных контуров. Как известно, электромагнитная энергия такой системы

$$T_e = \frac{1}{2} \sum_k \dot{\psi}_k i_k. \quad (21)$$

Отсюда

$$2 \frac{dT_e}{dt} = \sum_k \dot{\psi}_k i_k + \sum_k \dot{\psi}_k \dot{i}_k. \quad (21a)$$

С другой стороны, из уравнений (21) и (1) следует, что T_e — однородная квадратичная форма от токов контуров; коэффициенты этой формы являются функциями угла γ . Поэтому полную производную по времени от T_e можно написать так:

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{\partial T_e}{\partial \gamma} \cdot \frac{d\gamma}{dt} + \sum_k \frac{\partial T_e}{\partial i_k} \frac{di_k}{dt}. \quad (21b)$$

Но³

$$\frac{\partial T_e}{\partial i_k} = \dot{\psi}_k, \quad (21c)$$

³ Следует из теоремы Эйлера об однородных функциях; нетрудно убедиться в этом и непосредственно.

таким образом:

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{\partial T_e}{\partial \gamma} \dot{\gamma} + \sum_k \dot{\psi}_k i_k. \quad (21d)$$

Вычитая это равенство из равенства (21a), получим:

$$\frac{dT_e}{dt} - \sum_k \dot{\psi}_k i_k = -\dot{\gamma} \frac{\partial T_e}{\partial \gamma}, \quad (21e)$$

вследствие чего уравнение баланса мощностей (20) приводится к виду:

$$\dot{\gamma} M_{om} - \frac{dT_m}{dt} + \dot{\gamma} \frac{\partial T_e}{\partial \gamma} = 0, \quad (21f)$$

но

$$T_m = \frac{J \dot{\gamma}^2}{2},$$

где J — момент инерции ротора; отсюда

$$\frac{dT_m}{dt} = J \dot{\gamma} \ddot{\gamma}.$$

Внося это выражение в (21f) и сокращая на $\dot{\gamma}$ получим:

$$M_{om} - J \ddot{\gamma} + \frac{\partial T_e}{\partial \gamma} = 0. \quad (22)$$

Динамический смысл полученного уравнения очевиден.

M_{om} — момент внешних приложенных к валу ротора механических сил;

$J \ddot{\gamma}$ — момент силы инерции;

$\frac{\partial T_e}{\partial \gamma}$ — должно быть моментом электромагнитных сил, действующих на ротор, так как сумма этих трех моментов согласно началу д'Аламбера в действительном движении должна быть равна нулю.

На основании этого начала можно было бы прямо написать:

$$M_{om} - J \ddot{\gamma} + M_{oe} = 0; \quad (22a)$$

причем выражение для M_{oe} не было бы, однако, получено. После проделанных выкладок⁴ очевидно, что

$$M_{oe} = + \frac{\partial T_e}{\partial \gamma}. \quad (23)$$

Для получения последнего уравнения остается подставить в выражение (21) значения $\dot{\psi}_k$, данные в уравнении (13); результат будет:

$$2T_e = 3L_{0a}^2 \dot{\gamma}^2 + \frac{3}{2} L_{ad}^2 \dot{\gamma}^2 + \frac{3}{2} L_{aq}^2 \dot{\gamma}^2 + 3M_{adr} \dot{\gamma} + L_r \dot{\gamma}^2. \quad (24)$$

В этой формуле T_e от угла γ явно не зависит; но так как нам нужно найти момент в абсолютном движении ротора, в котором i_d и i_q суть функции угла γ , данные формулами (6), то

$$\frac{\partial T_e}{\partial \gamma} = \frac{\partial T_e}{\partial i_d} \cdot \frac{di_d}{d\gamma} + \frac{\partial T_e}{\partial i_q} \cdot \frac{di_q}{d\gamma}. \quad (25a)$$

Дифференцированием формул (6) находим:

$$\frac{di_d}{d\gamma} = -i_q; \quad \frac{di_q}{d\gamma} = +i_d. \quad (25b)$$

Внося эти значения в формулу (25a) и взяв частные производные от T_e — данного выраже-

⁴ При пользовании для составления уравнений методом Лагранжа этот вывод получается непосредственно.

нием (24) по i_d и i_q , получим окончательно:

$$\frac{\partial T_e}{\partial \gamma} = -\frac{3}{2} [M i_r i_q + (L_d^* - L_q^*) i_d i_q], \quad (25)$$

так что последнее из наших уравнений получает вид:

$$J \ddot{\gamma} + \frac{3}{2} [M i_r i_q + (L_d^* - L_q^*) i_d i_q] = M_{om}. \quad (26)$$

Пять уравнений [(19a), (19b), (19c), (19d) и (26)] и представляют собою дифференциальные уравнения переходных процессов идеализированной в определенном выше смысле синхронной машины с одним контуром на роторе и симметричными цепями статора. Переменными в них являются токи i_0 , i_d , i_q , i_r и угол γ , определяющий положение ротора в его абсолютном движении.

Преобразование уравнений. Во многих вопросах, как, например, вопросах устойчивости параллельной работы коротких замыканий, втягивания в синхронизм при пуске в ход и т. д., переходное движение ротора происходит в области, близкой к его установившемуся движению в некотором режиме. В таких случаях удобно рассматривать относительное движение ротора по отношению к некоторой среде, вращающейся равномерно с угловой скоростью, с которой ротор вращался в этом установившемся движении. Назовем скорость этого переносного движения синхронной скоростью и будем обозначать ее буквой ω_s .

Отнесем движение ротора к некоторой оси—синхронной оси, угол которой с неподвижной осью фазы a будет:

$$\omega_s t + \alpha,$$

если при $t=0$ эти две оси составляют между собой угол α . Этот угол может быть выбран сообразно условиям задачи.

Определим относительное движение ротора углом θ , который его поперечная ось составляет с синхронной осью:

$$\theta = \gamma - \frac{\pi}{2} - (\omega_s t + \alpha). \quad (27)$$

Очевидно:

$$\dot{\theta} = \dot{\gamma} - \omega_s; \quad \ddot{\theta} = \ddot{\gamma}. \quad (27a)$$

Отношение

$$s = \frac{\dot{\theta}}{\omega_s} = \frac{\dot{\gamma} - \omega_s}{\omega_s} \quad (27b)$$

будем называть скольжением ротора, приписывая ему знак, противоположный тому, который ему придают в теории асинхронных машин.

Часто приходится изучать переходный процесс в синхронной машине, связанной проводами с источником синусоидального напряжения угловой частоты ω_s ; в этом случае э. д. с., приложенные в контурах фаз, будут заданными функциями времени вида:

$$\left. \begin{aligned} e_a &= e \cos(\omega_s t + \beta), \\ e_b &= e \cos(\omega_s t + \beta - \rho), \\ e_c &= e \cos(\omega_s t + \beta + \rho). \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Выберем за синхронную ось вектор, проекция которого на магнитные оси фаз равны: e_a , e_b , e_c .

Этот вектор будет составлять с магнитной осью фазы угол $\omega_s t + \beta$, так что движение ротора относительно этого вектора определится углом

$$\theta = \gamma - \frac{\pi}{2} - (\omega_s t + \beta).$$

Выразив отсюда γ и подставляя его значение в формулы, дающие симметричные (в смысле Blondеля) компоненты заданной тройки э. д. с. [см. формулы (6)], найдем для них такие выражения:

$$e_0 = 0; \quad e_d = -e \sin \theta; \quad e_q = e \cos \theta. \quad (29)$$

В уравнения (19) и (26) входят параметры: r , r_r , L_0^* , L_d^* , L_q^* , L_r , M и M^* . Вместо них удобнее рассматривать параметры, обычные в теории установившегося движения x_0 и x_q , данные формулой (15); вместо сопротивлений можно рассматривать декременты:

$$\rho_0 = \frac{r}{x_0}; \quad \rho_d = \frac{r}{x_d}; \quad \rho_q = \frac{r}{x_q}; \quad \rho_r = \frac{r_r}{\omega_s L_r}.$$

Если, кроме того, вместо токов i_0 , i_d , i_q и i_r ввести нормированные переменные

$$u_0 = x_0 i_0; \quad u_d = x_d i_d; \quad u_q = x_q i_q; \quad u_r = M \omega_s i_r, \quad (30a)$$

имеющие размерность э. д. с., и, наконец, вместо оператора $\frac{d}{dt}$ ввести оператор

$$p = \frac{1}{\omega_s} \cdot \frac{d}{dt}, \quad (30b)$$

обозначающий операцию дифференцирования по синхронному времени $\tau = \omega_s t$ (единицей его, или синхронной секундой будет $\frac{\text{сек}}{\omega_s}$), можно придать уравнениям (19a), (19b), (19c), (19d) и (26) после некоторых несложных преобразований такую форму:

$$(\rho_0 + p) u_0 = e_0, \quad (31a)$$

$$(\rho_d + p) u_d + (1 + s) u_q + p u_r = e_d, \quad (31b)$$

$$-(1 + s) u_d + (\rho_q + p) u_q - (1 + s) u_r = e_q, \quad (31c)$$

$$\mu p u_d + (\rho_r + p) u_r = \frac{M}{L_r} e_r, \quad (31d)$$

$$J \omega_s^2 s + \frac{3}{2} \left[\frac{u_r u_q}{x_q} + \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) u_d u_q \right] = \omega_s M_{om}. \quad (31e)$$

В эти уравнения входит новый параметр

$$\mu = \frac{M M^*}{L_r L_d^*}, \quad (31e)$$

значение которого будет выяснено ниже.

Дальнейшее упрощение уравнений может быть получено введением специальной системы единиц.

Введение специальных единиц. Специальные единицы выбирают обычно таким образом, чтобы значения важнейших переменных задачи в некотором нормальном состоянии системы были численно равны единице. При изучении переходных режимов машины около некоторого установившегося движения удобно принять за единицы мощности напряжений и т. д. значения их именно в этом установившемся режиме.

Пусть в таком режиме в некоторой точке цепи нам известны амплитуды тока и напряжения. Выбираем их за соответствующие единицы, тогда единицы для остальных параметров и переменных, относящихся к цепям статора, должны быть выбраны так: условной единицей сопротивлений

реактивностей r_1 будет число ом, равное $\frac{u_1}{i_1}$, где u_1 — основная единица напряжений в вольтах, а i_1 — условная единица тока в амперах. Условной единицей проводимости будет $\frac{1}{r_1}$ (мо).

Условная единица трехфазной мощности будет:

$$P_1 = \frac{3}{2} u_1 i_1,$$

так как u_1 и i_1 суть амплитудные, а не действующие значения. Условная единица вращающего момента будет:

$$\frac{P_1}{\omega_s}.$$

Для контура ротора можно взять особые единицы тока и напряжения, выбрав за единицу э. д. с., приложенной к контуру возбуждения, такую э. д. с., которая дает в нем при заданной величине сопротивления контура ток возбуждения, необходимый для того, чтобы напряжение на зажимах статора при холостом ходе машины имело амплитуду равную условной единице статорных напряжений.

При введении этой системы единиц первые три из уравнений (31) не изменят своего вида, так как все входящие в них переменные $u_0, u_d, u_q, u_r, e_0, e_d, e_q$ мы условились измерять в общей единице—в амплитуде фазового напряжения, а все параметры p суть отвлеченные числа, от выбора единиц не зависящие.

Уравнение (31 с) в случае холостого хода машины принимает вид:

$$p_r u_r = \frac{M}{L_r} e_r,$$

откуда следует, что между единицей роторных напряжений e_{1r} в единицах статорных напряжений e_{1s} , установленной нами выше, должно быть соотношение:

$$e_{1s} = \frac{M}{p_r L_r} e_{1r}.$$

Разделим уравнение (31с) на это равенство:

$$\mu_r \frac{u_d}{e_{1s}} + (p_r + p) \frac{u_r}{e_{1s}} = p_r \frac{e_r}{e_{1r}}.$$

Отсюда следует, что во введенной нами системе специальных единиц уравнение (31с) должно быть написано так:

$$\mu_r u_d + (p_r + p) u_r = p_r E_r,$$

где через E_r обозначена э. д. с. в контуре ротора в выбранной нами системе специальных единиц.

Уравнение (31d) имеет размерность мощности. Разделим первый и последний члены этого уравнения на число киловатт, заключающееся в выбранной нами единице мощности,

а второй член—на величину $\frac{3}{2} \frac{e_{1s}^2}{r_1}$, тогда это уравнение примет вид:

$$\frac{J \omega_s^2}{p_1} \dot{S} + \left[\frac{u_r}{e_1} \frac{u_q}{e_1} \frac{1}{x_q} \frac{1}{r_1} + \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \frac{u_d}{e_1} \cdot \frac{u_q}{e_1} \right] = \frac{M_{om} \omega_s}{p_1}.$$

Все входящие в него величины выразились при этом в соответственных специальных единицах:

$\frac{J \omega_s^2}{p_1}$ есть отношение удвоенной живой силы ротора при синхронной скорости его вращения к выбранной нами единице мощности; это отношение называется инерционной постоянной машины и выражается в секундах; мы будем обозначать эту постоянную буквой c .

Во введенной таким образом системе специальных единиц наши уравнения примут такой вид:

$$(p_0 + p) u_0 = e_0, \quad (32)$$

$$(p_d + p) u_d + (1 + s) u_q + p u_r = e_d, \quad (32a)$$

$$-(1 + s) u_d + (p_q + p) u_q - (1 + s) u_r = e_q, \quad (32b)$$

$$+ \mu_r u_d + (p_r + p) u_r = p_r E_r, \quad (32c)$$

$$c s + \left[\frac{u_r u_q}{x_q} + \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) u_d u_q \right] = M_{om}. \quad (32d)$$

Следует отметить, что переменная u_0 —ток в нейтрали машины, совершенно не связана с остальными переменными, определяющими состояние системы.

Переходный процесс машины определяется, таким образом, системой четырех уравнений (32a), (32b), (32c) и (32d) и отдельным уравнением (32), которое может быть решено независимо от системы.

Из уравнений непосредственно следует, что токи нулевой последовательности в фазах статора не оказывают на движение ротора идеализированной синхронной машины никакого влияния. Это замечание имеет практическое значение при расчетах устойчивости.

Физический смысл параметра. Нам остается еще выяснить физический смысл параметра μ , определяемого формулой (31e). Его можно рассматривать как произведение двух отношений

$$\mu = \mu_s \mu_r,$$

из которых

$$\mu_s = \frac{\omega_s}{\omega_r} \frac{M^*}{L_d^*},$$

а

$$\mu_r = \frac{\omega_r}{\omega_s} \frac{M}{L_r}.$$

где ω_s и ω_r —числа витков обмотки фазы статора и контура ротора;

M —индуктивность контура ротора и контура фазы при совпадении их магнитных осей;

$\frac{M}{\omega_s}$ —магнитный поток, сцепляющийся с контуром фазы, когда ток возбуждения равен единице.

Этот поток есть часть потока $\frac{L_r}{\omega_r}$, созданного тем же током и сцепляющегося с контуром ротора. Другая часть этого потока

$$\frac{L_r}{\omega_r} - \frac{M}{\omega_s}$$

сцепляется только с контуром ротора и является, следовательно, потоком рассеяния.

Назовем отношения этих двух частей к целому соответственно коэффициентом магнитной связи и коэффициентом рассеяния ротора:

$$\mu_r = \frac{\omega_r}{\omega_s} \frac{M}{L_r} \quad \text{и} \quad \sigma_r = 1 - \frac{\omega_r}{\omega_s} \frac{M}{L_r}.$$

Коэффициент $L_d^* = L_d - M_d$ представляет собой амплитуду потокосцепления фазы в том случае, когда в фазах статора протекает симметричная тройка токов, амплитудой—единица [формула (13)].

Отношение $\frac{L_d^*}{\omega_s}$ —амплитуда потока, сцепляющегося с контуром фазы.

Мы можем представить себе этот поток направленным по продольной оси ротора и вращающимся вместе с ним. Часть этого потока будет сцепляться с контуром ротора,

последняя из формул (13) говорит, что эта часть равна $\frac{M^*}{\omega_r}$;

остальная часть $\frac{L_d^*}{\omega_s} - \frac{M^*}{\omega_r}$ сцепляется только с контурами

фаз и является, следовательно, потоком рассеяния по отношению к контуру ротора. Назовем отношения этих частей к их целому соответственно коэффициентам магнитной связи и коэффициентам рассеяния статора:

$$\mu_s = \frac{\omega_s}{\omega_r} \frac{M^*}{L_d^*}; \quad \sigma_s = 1 - \frac{\omega_s}{\omega_r} \frac{M^*}{L_d^*}.$$

Коэффициент μ есть произведение коэффициентов магнитной связи ротора и статора; он может быть назван коэффициентом магнитной связи машины, а дополнение его до единицы—коэффициентом ее магнитного рассеяния. Этот последний коэффициент может быть представлен в одном из следующих видов:

$$\sigma = 1 - \mu = 1 - \mu_s \mu_r = \sigma_r + \sigma_s - \sigma_r \sigma_s = \sigma_s + \mu_s \sigma_r = \sigma_r + \mu_r \sigma_s.$$

Коэффициент σ и определяемая при его помощи продольная переходная реактивность машины

$$x_d' = \sigma x_d$$

играют фундаментальную роль при анализе переходных процессов машины. Так как эта реактивность может быть сравнительно просто определена из опыта, все параметры, характеризующие машину и входящие в уравнения (32), могут быть определены опытным путем.

Возможное применение уравнений. Так как переменная s входит множителем при переменных u_q, u_d и u_r в уравнения (32a) и (32b), а в уравнения (32d) входят произведения этих переменных, система уравнений (32a)—(32d) не является линейной, что и объясняет известные трудности анализа переходных процессов синхронной машины. Все же эта система может найти себе широкое применение, так как приближенное численное решение ее всегда возможно.

Кроме того, иногда можно прибегнуть к допущениям, при которых система обращается в линейную. Так, в некоторых случаях переходных процессов можно пренебречь переходным относительным движением ротора, принимая угловую скорость его постоянной и скольжение $s = 0$. В этом случае (32 d) отпадает вовсе, и задача сводится к интегрированию системы трех уравнений: (32a), (32b) и (32c), которые при $s = 0$ являются линейными, с постоянными коэффициентами и последними членами. Эта задача решается просто. Явления при коротком замыкании, а равно и при внезапных переходах машины от одного режима к другому могут быть сравнительно легко проанализированы при помощи этой системы.

Во-вторых, интересные результаты могут быть получены при изучении электромагнитных явлений в машине, работающей параллельно с источником э. д. с. е, меняющейся синусоидально с постоянной угловой частотой, в том предположении, что ротор машины вращается асинхронно, обладая постоянным скольжением $s = \text{const}$.

В этом случае задача сводится опять к интегрированию системы трех уравнений с постоянными коэффициентами, в которые входит постоянная величина скольжения. Решив эти уравнения, нетрудно с помощью (32d) вычислить момент электромагнитных сил, действующий на ротор, и установить зависимость его от скольжения.

Приведенная система уравнений может быть также применена для анализа малых колебаний ротора в его относительном движении. В этом случае можно с хорошим приближе-

нием принять, что ротор совершает синусоидальные колебания и что, следовательно, s меняется как некоторая синусоидальная функция времени. В этом предположении уравнения (32a), (32b) и (32c) будут линейными с переменными коэффициентами, меняющимися синусоидально, и допускают сравнительно простое приближенное решение. Это решение в подстановке в уравнение (32d) дает возможность определить с технической точки зрения весьма точно величину синусирующего и демпфирующего моментов, действующих на ротор при его малых колебаниях, уточненную величину периода этих колебаний и те условия, при которых демпфирующий момент получает знак, одинаковый со знаком скольжения, т. е. условия самораскачивания ротора.

Наконец, приближенное численное интегрирование полунелинейной системы четырех уравнений также возможно. Оно приводит после ряда упрощающих предположений к известному уже методу вычисления движения ротора "шаг за шагом" (step by step method). При этом выясняются допущения и пренебрежения, которые лежат в основе этого метода и которые не были четко сформулированы его авторами, а равно и порядок возможных ошибок при его применении.

Попытки применения уравнений (32) к решению перечисленных вопросов были сделаны автором и будут опубликованы в ближайшее время.

Кривые фиктивного времени при отсутствии автоматического регулирования напряжения

Б. И. Розенберг и М. В. Костенко
Ленинград

ПРИ определении нагрева токоведущих элементов проходящими через них токами к. з. возникает, как известно, необходимость вычисления: $\int_0^t i^2 dt$, где i_t — мгновенное значение полного тока к. з. в любой момент времени.

С достаточной для практики точностью, как показал анализ, для современных параметров машин и систем имеет место соотношение:

$$\int_0^t i^2 dt \approx \int_0^t I_D^2 dt \approx \int_0^t I_{D1}^2 dt + \int_0^t I_{A1}^2 dt, \quad (1)$$

где $I_{D1} = f_1 t$ — мгновенное значение аperiodической составляющей тока к. з.;

$I_{A1} = f_2 t$ — действующее значение периодической составляющей тока к. з.;

$I_t = f(t)$ — действующее значение полного тока к. з.

В многократно питаемых сетях ток I_t зависит от очень большого количества факторов, подробный учет которых приводит к весьма сложным выражениям тока, что чрезвычайно затрудняет вычисление приведенного интеграла. Поэтому на практике принимают некоторые допущения, которые позволяют с погрешностью в пределах 10–15% положить

$$\int_0^t i^2 dt = I_p^2 t_\phi, \quad (2)$$

где I_p — некоторый расчетный, не меняющийся во времени ток;

t_ϕ — некоторое расчетное (фиктивное) время.

Бирманс¹, впервые предложивший указанный путь, в качестве расчетного тока принял установившийся ток к. з. I_∞ , для нахождения же фиктивного времени им были построены некоторые типовые кривые спада тока $I_t = f(t, \frac{I''}{I_\infty})$

найденные графическим путем величины $\int_0^t i^2 dt$ из

тем из равенства $t_\phi = \frac{\int_0^t i^2 dt}{I_\infty^2}$ определены значения

$$t_\phi = f\left(t, \frac{I''}{I_\infty}\right).$$

Основные дефекты кривых Бирманса, препятствующие применению их в настоящее время таковы:

1. Преуменьшенная длительность переходного процесса. По Бирмансу процесс затухания тока при трехполосном к. з. заканчивается в течение 2 sec, в то время как в действительности длительность его, имеющая практическое значение, значительно больше (порядка 5 sec).

2. Несоответствие самого характера спада тока с таковым у современных машин, в частности, отсутствие явно выраженных переходной и сверхпереходной составляющей тока к. з.

3. Ошибочное представление о том, что при двухполосных и однополосных к. з. ток затухает при тех же отношениях I'' к I_∞ вдвое медленнее, чем при трехполосных к. з.

¹ Бирманс, Сверхтоки в установках высокого напряжения, Энергоиздат, 1932.

4. Ошибочное представление о возможности пренебречь влиянием аperiodической составляющей тока к. з.

Указанные дефекты кривых Бирманса приводят при трехполосных к. з. к значительному преуменьшению термического эффекта, причем погрешность по сравнению с более точными методами может достигать величины 50% и больше. Что же касается несимметричных к. з., то ошибочность методологии уже сама по себе исключает необходимость в дополнительном анализе. Означенное привело ряд авторов к выводу о необходимости создания новых кривых, дающих более правильные значения t_{ϕ} .

Современные методы определения фиктивного времени. В опубликованных за последние годы работах, кроме использования кривых Бирманса², недостатки которых мы уже указали, предлагается еще применить стандартные декрементные кривые для определения фиктивного времени или: 1) как функции времени и эквивалентного сопротивления до места к. з.³: $t_{\phi} = f(t, X_s)$; 2) или же как функции времени и отношения⁴ $\frac{I''}{I_{\infty}}$: $t_{\phi} = f\left(t, \frac{I''}{I_{\infty}}\right)$.

Фиктивное время, как функция эквивалентного сопротивления. В качестве расчетного тока, в рассматриваемом методе, принят суммарный номинальный ток всех генерирующих источников системы. Кривые фиктивного времени $t_{\phi} = f(t)$ построены для различных эквивалентных сопротивлений системы по отношению к точке к. з. При построении кривых авторами приняты за основу стандартные американские декрементные кривые, которые предложили Nahn и Wagner⁵.

В основу построения этих кривых были положены следующие условия: 1) все генерирующие источники могут быть заменены одним генератором суммарной мощности, отделенным от места к. з. эквивалентным сверхпереходным сопротивлением; 2) регуляторы напряжения отсутствуют; 3) короткое замыкание происходит на холостом фидере; 4) нагрузка может быть заменена эквивалентным шунтом, присоединенным к зажимам замещающего генератора и имеющим параметры, принятые при построении кривых; 5) короткое замыкание всегда глухое, металлическое; 6) активные сопротивления в короткозамкнутой сети отсутствуют; 7) возбуждение эквивалентной машины соответствует номинальному режиму ее.

В действительности же некоторые из указанных допущений приводят к полному искажению картины затухания тока. Нетрудно выяснить, какие

погрешности получаются в результате одного только первого допущения.

Пусть (рис. 1) A — станция большой мощности; X_A — эквивалентное сопротивление между станцией и точкой к. з.; B — генератор, приключенный непосредственно к шинам, где произошло к. з.; X_B — сопротивление генератора.

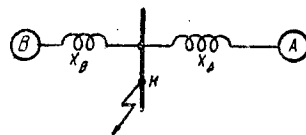


Рис. 1

Согласно методу декрементных кривых за базисную мощность должна быть принята суммарная мощность станций A и B :

$$P_0 = P_A + P_B.$$

Эквивалентное сопротивление ветвей

$$X_s = \frac{X_A^0 \cdot X_B^0}{X_A^0 + X_B^0},$$

где

$$X_A^0 = X_A \frac{P_0}{P_A} \text{ и } X_B^0 = X_B \frac{P_0}{P_B}.$$

С увеличением P_A эквивалентное сопротивление X_s может стать больше любой, наперед заданной величины. При X_s больше 1,0 ток к. з. можно согласно методу декрементных кривых считать незатухающим.

В действительности же при больших значениях X_A ток, посылаемый станцией A , может быть ничтожно мал по сравнению с током, посылаемым стацией B . В пределах при $X_A \rightarrow \infty$ действительный ток затухает по закону к. з. на зажимах генератора, в то время как метод декрементных кривых дает значение установившегося тока, равное сверхпереходному. Если принять для зажимов генератора отношение $\frac{I''}{I_{\infty}} \approx 5$, то погрешность при определении установившегося тока указанным методом достигает

$$\frac{5-1}{1} \cdot 100 = 400\%.$$

Если даже ошибки в реальных сетях и не будут достигать определенной выше предельной величины, все же они полностью исключают возможность применения на практике рассматриваемых кривых.

Фиктивное время как функция времени и отношения $\frac{I''}{I_{\infty}}$. В руководящих указаниях по расчету токов к. з. для выбора принципиальной схемы и аппаратуры станций и подстанций, разработанных МОТЭП для построения кривых фиктивного времени, так же, как и в предыдущем случае используются стандартные декрементные кривые. В качестве исходных приняты стандартные кривые спада тока, построенные Черниным⁶ применительно к машинам союзного изготовления.

Как будет показано в дальнейшем, отношение

² Третьяк и Лысов, Основы тепловых расчетов электрической аппаратуры, ОНТИ, 1935; Буйлов, Выключатели переменного тока высокого напряжения, ОНТИ, 1936; Буткевич и Мелькумов, Аппаратура распределительных устройств высокого напряжения, 1936.

³ Проф. А. А. Смуров, Электротехника высокого напряжения и передача энергии, т. III, 1935; Л. Е. Машкилейсон, К вопросу о расчете нагрева токоведущих частей при к. з., "Электричество" № 7, 1934; Каталог АВН № 1а (февраль 1936).

⁴ Материалы Теплоэлектропроекта (Москва) "Руководящие указания по расчету токов к. з. для выбора принципиальных схем и аппаратуры станций и подстанций".

⁵ W. S. Nahn and C. F. Wagner, Standart Decrement Curves, Tr. AIEE, июнь 1932.

⁶ Чернин, Упрощенный американский метод расчета токов к. з., "Электричество" № 10—11, 1934.

$\frac{I''}{I_\infty}$ можно считать достаточно приемлемым параметром, но принцип подбора для каждого заданного отношения $\frac{I''}{I_\infty}$ соответствующей декрементной кривой вызывает известные возражения. Действительно, при одном и том же отношении $\frac{I''}{I_\infty}$ затухание тока может идти по различным кривым, и выбор кривой, принятой в методе декрементных кривых, как правило, дает преувеличение эффекта нагрева.

Необходимо подчеркнуть, что руководство указанием инструкции МОТЭП о возможности нахождения величины I_∞ , используя все те же декрементные кривые, может в еще большей степени усугубить ошибку.

В результате этого предложенный метод хотя и не дает столь значительных погрешностей, как рассмотренные выше, все же не дает и той точности, какую желательно и практически вполне возможно получить.

Возможные методы нахождения фиктивного времени. Правильные значения фиктивного времени могут быть получены только при наличии кривых спада тока, действительно соответствующих реальным условиям сети.

Метод переходных э. д. с.⁷ и спрямленных характеристик⁸, несмотря на то, что из применяемых на практике методов являются, возможно, одними из наиболее точных, для построения кривых фиктивного времени непригодны. Непригодны они потому, что любое значение промежуточного тока определяется по расчетным формулам, исходя из конкретных параметров и конфигурации

сети. Таким образом определение $\int_0^t i^2 dt$ может

быть произведено только построением по точкам кривой спада тока, квадратурованием ее и планиметрированием — путь, естественно, для практических целей мало приемлемый.

Необходимо добавить, что применение этих весьма трудоемких методов не оправдывает привносимых ими добавочных уточнений.

Чрезвычайно существенные факторы, влияющие на величины токов к. з. — поведение нагрузки, качание векторов э. д. с., значение апериодической составляющей, — учитываются этими методами так же приближенно, как и другими. Помимо того, при составлении эквивалентных схем обычно делается для упрощения вычислений ряд других допущений — не учитываются активные сопротивления, коэффициенты трансформации трансформаторов заменяются отношением эксплуатационных напряжений, реактивное сопротивление трансформаторов принимается равным полному и т. п.

Поэтому можно считать вполне допустимым определение кривой спада тока в виде функции экстремальных значений токов и времени. Последняя при упрощенной схеме (генератор —

сопротивление — точка к. з.) и отсутствии регуляторов напряжения имеет вид:

$$I_t = \sqrt{I_{At}^2 + I_{Dt}^2},$$

где

$$I_{At} = I_\infty + (I' - I_\infty)e^{-\frac{t}{T'}} + (I'' - I')e^{-\frac{t}{T''}}$$

и

$$I_{Dt} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{t}{T_d}}.$$

Для тока в месте аварии удается путем выбора одних величин и соответствующего подбора средних значений для других достигнуть весьма небольших погрешностей при распространении этого выражения и на сеть любой сложности. Мало того, практически возможно без существенного ущерба для результата определить ток I_t как функцию только двух экстремальных значений (например I'' и I_∞), а не всех трех.

В мировой практике такие методы определения тока I_{At} нашли широкое применение. В Америке под названием метода двух точек ($I_{At} = f(t, \frac{I''}{I'}, \frac{I'}{I_\infty})$) и метода трех точек ($I_{At} = f(t, \frac{I''}{I'}, \frac{I'}{I_\infty})$), их предложил W. Hahn⁹. В Германии такой метод ($I_{At} = f(t, \frac{I''}{I_\infty})$) утвержден нормами Союза германских электротехников¹⁰.

У нас в Союзе под именем метода двух и трех точек он был предложен Ленинградской комиссией по разработке руководящих указаний для вычисления токов к. з. и утвержден Главэнерго как один из рекомендуемых методов.

Ниже излагаются основные принципы, положенные в основу этого метода.

Принципы построения кривых спада тока к. з. для метода двух и трех точек. В методе двух и трех точек периодическая составляющая тока к. з. определяется из соотношений:

$$I_{At} = I_\infty + (I'' - I_\infty)\sigma_t \quad (\text{метод двух точек});$$

$$I_{At} = I_\infty + (I' - I_\infty)\sigma'_t + (I'' - I')\sigma''_t \quad (\text{метод трех точек}).$$

Значения токов I_∞ , I' и I'' могут быть найдены с любой степенью точности. Весь вопрос, таким образом, сводится к нахождению коэффициентов σ_t , σ'_t и σ''_t .

Коэффициент σ'_t изменяется в небольших пределах, и выбор средней его величины трудностей не вызывает.

Подбор коэффициентов σ_t и σ'_t произведен, исходя из нижеследующего положения.

При одних и тех же экстремальных значениях тока к. з. скорость переходного процесса при некоторых определенных параметрах генераторов зависит от расположения генерирующих источников по отношению к точке к. з.

Предельными случаями (рис. 2) являются, с одной стороны, полная симметрия расположения генераторов (наиболее медленное затухание тока)

⁷ C. F. Wagner, Decrement Short-Circuit Currents, El. Journ. № 5, 1933.

⁸ Чернин, Метод спрямленных характеристик для расчета токов к. з., "Электричество" № 4, 1935.

⁹ W. Hahn, Декрементные кривые для специальных систем
¹⁰ VDE, Method zur Berechnung von Kurzschlussströme Schalterleistungen, ETZ, 1929, стр. 242—279.

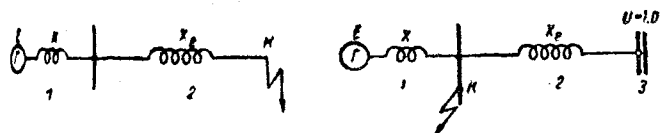


Рис. 2. а — полная симметрия схемы; б — максимальная асимметрия; 1 — эквивалентный генератор; 2 — внешняя сеть; 3 — шины бесконечной мощности

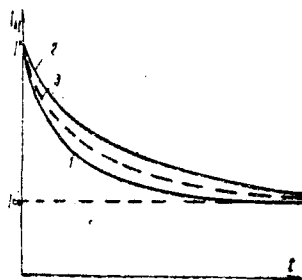


Рис. 3. 1 — максимальная асимметрия схемы; 2 — полная симметрия; 3 — средняя кривая

с другой — максимальная асимметрия, получающаяся при параллельной работе генератора с сетью бесконечной мощности и к. з. на зажимах генератора (наиболее быстрое затухание). Кривые рис. 3 иллюстрируют изложенное.

По предложению Б. И. Розенберга было принято правильным определять коэффициенты $\sigma_t = f(t, \frac{I''}{I_\infty})$ и $\sigma'_t = f(t, \frac{I'''}{I_\infty})$ по средней кривой 3 для каждого отношения экстремальных токов¹¹.

По существу применение метода трех точек не внесло для токов в точке к. з. значительных уточнений по сравнению с методом двух точек. Пользование первым методом необходимо только в случаях питания места к. з. гидрогенераторами или в смешанных системах, где имеются как турбо-, так и гидрогенераторы.

В этих случаях применимы только кривые коэффициентов затухания σ'_t , так как именно эти кривые совпадают и для турбо- и для гидрогенераторов. Наложением на кривую переходного тока сверхпереходной составляющей, даваемой только турбогенераторами, можно получить значения тока I_{At} для любых систем.

Дополнительно проведенный анализ показал, что при построении кривых нагрева достаточную точность для систем, содержащих также гидрогенераторы, кроме метода трех точек, дает также метод двух точек, но не I'' и I_∞ , а I' и I_∞ . С точки зрения количества вычислений это практического значения не имеет, так как точка I'' должна обычно все равно вычисляться для определения электродинамической устойчивости аппаратуры или для других целей. В кривые же фиктивного времени это вносит существенные упрощения, позволяя строить их в виде функций только параметров t и $\frac{I'}{I_\infty}$.

Таким образом принято целесообразным построение двух семейств кривых: 1) для параметра $\frac{I''}{I_\infty} = \beta''$ и 2) для параметра $\frac{I'}{I_\infty} = \beta'$.

Исходные кривые коэффициентов затухания σ_t и σ'_t для этих параметров взяты из работы Розен-

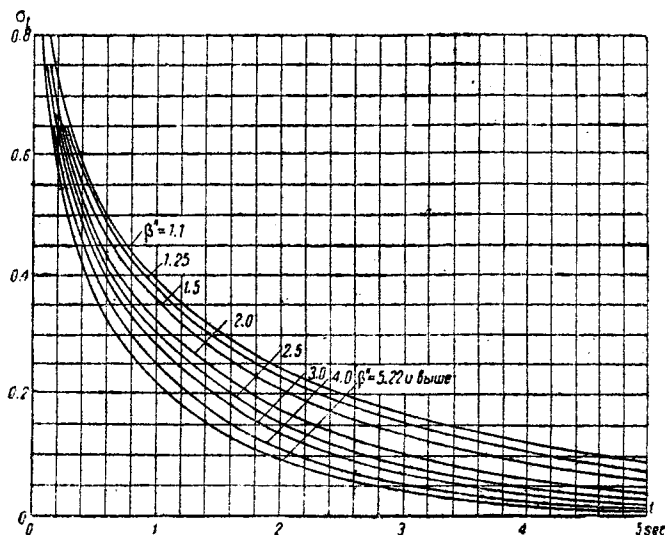


Рис. 4. Метод двух точек (I'' , I_∞); коэффициент σ_t для формулы $I_{At} = I_\infty = (I'' - I_\infty) \sigma_t$

берга и Костенко „Вычисление токов к. з. методом двух и трех точек“ и приведены на рис. 4 и 5 („Электричество“ № 23, 1937).

Построения кривых фиктивного времени для тока I_{At} . В качестве расчетного тока при построении кривых фиктивного времени принят установившийся ток к. з.¹²

Фиктивное время для полного тока, в соответствии с формулами (1) и (2), может быть выражено в виде:

$$t_\phi = t_{\phi A} + t_{\phi D} \quad (8)$$

где

$$t_{\phi A} = \frac{\int_0^t I_{At}^2 dt}{I_\infty^2} \quad (9)$$

фиктивное время для периодической составляющей тока к. з. (I_{At});

$$t_{\phi D} = \frac{\int_0^t I_{Dt}^2 dt}{I_\infty^2} \quad (10)$$

фиктивное время для аperiodической составляющей тока к. з. (I_{Dt}).

Методика учета влияния I_{Dt} на термический эффект от тока к. з. будет дана ниже.

Периодическая составляющая определяется формулами (6) и (7).

Введем следующие обозначения:

$$\frac{I_{At}}{I_\infty} = \beta_i; \quad \frac{I'}{I_\infty} = \beta'; \quad \frac{I''}{I_\infty} = \beta''; \\ \frac{I'' - I'}{I_\infty} = i''; \quad \frac{I' - I_\infty}{I_\infty} = i' \quad (11)$$

¹² Попытка в качестве расчетной величины принять действительное время выявила неудобство этого: необходимо либо продлить шкалу времени до 10 сек либо пользоваться мало удобными формулами пересчета.

¹¹ См. ст. авторов „Электричество“ № 23, 1937.

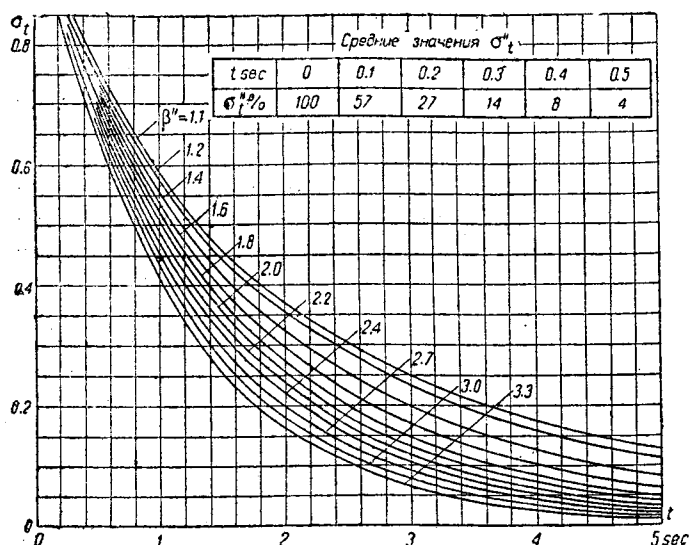


Рис. 5. Метод трех точек (I'' ; I' ; I_∞); коэффициент σ_t' для формулы $I_{At} = I_\infty + (I'' - I') \sigma_t' + (I' - I_\infty) \sigma_t'$

Тогда формулы (6) и (7) можно представить в виде:

$$\beta_t = 1 + (\beta'' - 1) \sigma_t; \quad (12)$$

$$\beta_t = 1 + I' \sigma_t' + I'' \sigma_t''; \quad (13)$$

Фиктивное время для I_{At} [формула (9)]

$$t_{\phi A} = \int_0^t \beta_t^2 dt. \quad (14)$$

Для каждого метода (I'' , I_∞) и (I' , I_∞) построено свое семейство кривых. Кривые построены по данным планиметрирования нанесенных на график функций $\beta_t^2 = f(t)$ для разных β'' или β' . Для малых выдержек времени ($t \leq 0,25$ sec) при больших β'' или β' ввиду резкого загиба кривых вверх вычисление произведено по формулам приближенного интегрирования.

При построении кривых $\beta_t^2 = f(t)$ использованы кривые коэффициентов затухания рис. 4 и 5.

Полученные в результате построений кривые фиктивного времени приведены на рис. 6 и 7.

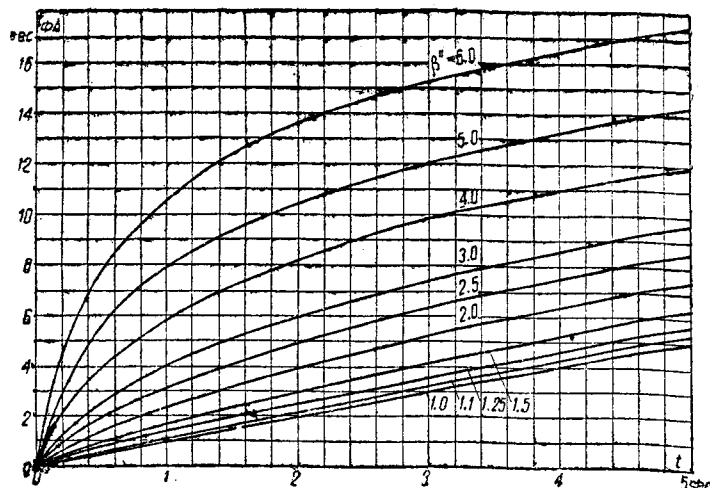


Рис. 6. Кривые фиктивного времени $t_{\phi A}$ для I_{At} в методе двух точек

Анализ кривых $t_{\phi A}$ показал, что максимальные погрешности от принятого допущения о независимости величины $t_{\phi A}$, от конфигурации сети превосходят: а) для метода (I'' , I_∞) $|\delta t_{\phi A}|_{\max} \leq 15\%$ (погрешность в сечении не превышает 7–8%); б) для метода (I' , I_∞) $|\delta t_{\phi A}|_{\max} \leq 11\%$ (погрешность в сечении не превышает 5–6%).

Вычисление термического эффекта от генераторов без демпферной обмотки. Как сказано выше, кривые коэффициентов затухания переходного тока для типовых гидро- и турбогенераторов практически совпадают. Однако при составлении кривых $t_{\phi A} = f(t, \beta')$ учтено также среднее значение сверхпереходной составляющей в предположении, что все генераторы имеют демпферную обмотку. Поэтому в случае, если часть или все генераторы таковой не имеют, то кривые должны дать несколько преувеличенный результат за счет частичного или полного отсутствия

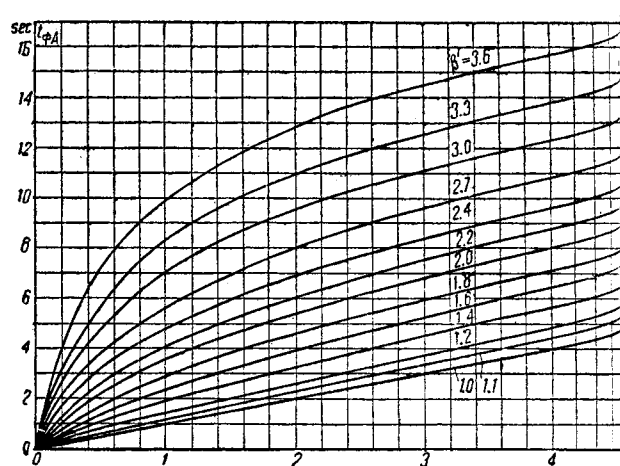


Рис. 7. Кривые фиктивного времени $t_{\phi A}$ для I_{At} в методе трех точек

сверхпереходной составляющей в реальной схеме. Однако выполненный для типового гидрогенератора анализ показал, что эта погрешность для реальных схем обычно не превосходит 10% в величине $t_{\phi A}$ (8% в сечении) в сторону завышения, т. е. она в пределах погрешности от перечисленных выше общих допущений. Объясняется это тем, что при к. з. на зажимах генератора трудно ожидать выдержек времени меньше 2 сек, которым и соответствует указанная выше погрешность в 10%. При к. з. в сети, где выдержки времени могут быть меньше, влияние сверхпереходной составляющей также заметно уменьшается. При наличии в системе также и генераторов с демпферной обмоткой (или эквивалентным устройством) указанная погрешность значительно уменьшается. Ценно отметить также то, что указанная погрешность не накладывается, а в большинстве случаев даже частично компенсирует погрешность кривых от асимметрии схем.

Применение кривых в случае генераторов с постоянной выдержкой времени T_0 . Указанные кривые соответствуют постоянным времени: $T_0 = 1$ сек для систем, питаемых турбогенераторами; $T_0 = 5$ сек для систем, питаемых гидрогенераторами; $T_0 = 6$ сек для смешанных систем.

Применение их для машин с иной постоянной времени T_0 , как показано выше, обычно не приводит к большим погрешностям. Но если эквивалентная постоянная времени T_{0a} машин расчетной схемы резко отличается от принятой для кривых, результат можно уточнить, применяя следующую формулу:

$$t_{\phi A} = \frac{T_{0a}}{T_0} t'_{\phi A}, \quad (14a)$$

где $t_{\phi A}$ — искомое фиктивное время с учетом от-
личия T_{0a} от T_0 ;

$t'_{\phi A}$ — фиктивное время по приведенным кривым при выдержке времени $t' = \frac{T_0}{T_{0a}} t$.

Построение кривых фиктивного времени для тока I_{Dl} и результаты. Совместное решение (10), (5) и (11) дало

$$t_{\phi D} = T_d \beta^{n^2} \left(1 - e^{-\frac{t}{0,5 T_d}} \right), \quad (15)$$

где T_d — постоянная времени затухания апериодической составляющей тока к. з.

T_d практически от β'' не зависит. Типовую среднюю величину для нее подобрать не удалось, так как для современных машин она колеблется в пределах от 0,076 (турбогенератор Т-6-2) до 0,56 sec (проект 85-MVA гидрогенератора для Черкея) с общей тенденцией к росту с ростом мощности.

Пренебрежение I_{Dl} при вычислении термического эффекта также недопустимо, так как это привело бы для современных машин к значительным погрешностям. Поэтому для определения $t_{\phi D}$ по-

строено (рис. 8) два семейства кривых.

$$\left(t_{\phi D \infty} = T_d \beta^{n^2}; k_t = 1 - e^{-\frac{t}{0,5 T_d}} \right).$$

В случае высоковольтных систем и для расчетов, не требующих большой точности, при условии глухого металлического к. з. (ввиду большой сложности определения T_d в зависимости от параметров сети) можно принимать для турбогенераторов средней мощности $T_d = 0,1$, для гидрогенераторов средней мощности $T_d = 0,3$ и для смешанных систем $T_d = 0,15$ sec.

Для систем низкого напряжения, в которых принимается ударный коэффициент $p = 1,3$, термический эффект от апериодической составляющей можно не учитывать.

Пользование кривыми фиктивного времени при несимметричных авариях. Определение наиболее тяжелого вида к. з. При несимметричных авариях под расчетным током следует понимать установившийся ток в точке к. з., полученный в результате суммирования соответствующих симметричных составляющих.

Во многих случаях ток двухфазного к. з. необходим только для проверки его термического эффекта. Поэтому очень ценно иметь возможность по результатам расчета трехполюсного к. з. (расчет которого все равно необходим для других целей) установить, может ли двухполюсное к. з. оказаться лимитирующим по термическому эффекту. Общего ответа на этот вопрос дать нельзя, так как наиболее тяжелым по термическому эффекту может оказаться и трех- и двухполюсное к. з. в зависимости от схемы, расположения точки к. з. и выдержки времени. Большую пользу при решении могут принести приводимые на рис. 9 кривые изотермии, которые построены на основе следующих соображений.

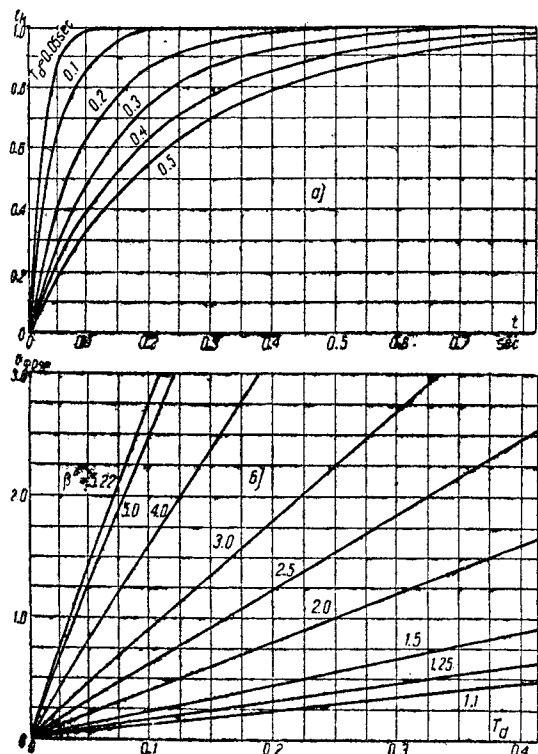


Рис. 8. Кривые фиктивного времени $t_{\phi D}$ для апериодической составляющей тока к. з.: $t_{\phi D} = t_{\phi D \infty} \cdot k_t$ — поправка на затухание апериодической составляющей k_t ; б — кривые $t_{\phi D \infty}$

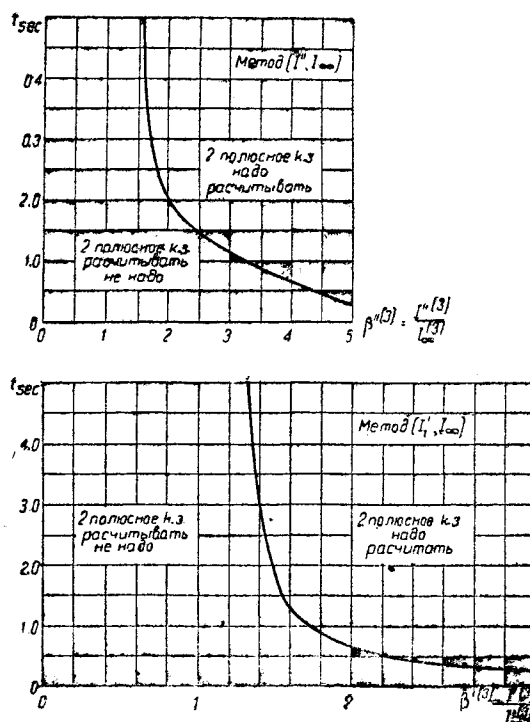


Рис. 9. Кривые изотермии

Условие равенства термического эффекта при двух- и трехфазном к. з. имеет вид:

$$I_{\infty}^{(2)2} t_{\phi}^{(2)} = I_{\infty}^{(3)2} t_{\phi}^{(3)}. \quad (16)$$

Индексы 2 и 3 вверху буквы означают соответственно двух- и трехфазное к. з. При методе (I'', I_{∞}) $I_{\infty}^{(2)}$ и $t_{\phi}^{(2)}$ зависят от $\beta^{(2)}$ и t , а $I_{\infty}^{(3)}$ и $t_{\phi}^{(3)}$ — от $\beta^{(3)}$ и t .

При данном $\beta^{(3)}$ кратность затухания при двухфазном к. з. $\beta^{(2)}$ различна для различных схем; предельные ее значения будут иметь место при полной симметрии схемы и максимальной ее асимметрии. Поэтому для всего диапазона значений $\beta^{(3)}$ могут быть построены две предельных кривых равного нагрева, разделяющих пространство чертежа на три области: 1) наиболее тяжелое, к. з. — трехфазное; 2) двухфазное; 3) в зависимости от схемы и расположения точки к. з. наиболее тяжелым видом может быть как двух-, так и трехфазное к. з. («сомнительная область»).

В данной работе приведена кривая изотермии, отделяющая область, в которой наиболее тяжелым видом к. з. будет трехфазное, от области, в которой необходима проверка термического эффекта также и при двухфазном к. з.

Методика построения кривых изотермии для метода (I', I_{∞}) аналогична таковой для метода (I'', I_{∞}) .

При практическом выполнении указанного сделаны следующие допущения: 1) аperiodическая составляющая отсутствует, что незначительно расширило область двухфазного к. з. за счет трехфазного; 6) были использованы кривые фиктивного времени для $I_{A'}$ (рис. 6 и 7) для получения $t_{\phi}^{(2)}$ и $t_{\phi}^{(3)}$, входящих в формулу (16).

При построении (рис. 9) приняты те же параметры, что и для кривых фиктивного времени. Кроме того, приняты следующие реактансы обратной последовательности: типовый турбогенератор с $X_{2d} = 0,158$; нагрузка $X_{2n} = 0,5$; эквивалентный генератор с $X_2 = 0,12$.

Таким образом, если в результате расчета трехфазного тока к. з. получено β'' или β' , которое при заданной выдержке времени оказывается больше, чем по кривой, то двухфазное к. з. может дать больший термический эффект, чем трехфазное, и проверка, следовательно, необходима.

Примеры: 1. По данным расчета токов к. з. на шинах генераторного напряжения 10,5 кВ теплоэлектростанции получены токи трехфазного к. з.

$$I'' = 66\,500 \text{ А}; I_{\infty} = 31\,500 \text{ А}.$$

Выдержка времени реле $t = 5$ сек, имеем:

$$\beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}} = \frac{66\,500}{31\,500} = 2,11.$$

По кривым рис. 6 определяем $t_{\phi A} = 7,7$ сек. Рис. 8 дает, если принять $T_d = 0,1$, $t_{\phi D} = 0,5$ сек. Фиктивное время полного тока

$$t_{\phi} = t_{\phi A} + t_{\phi D} = 7,7 + 0,5 = 8,2 \text{ сек}.$$

Кривые рис. 9 показывают, что нагрев можно лимитировать также и двухполюсное к. з.

Согласно расчету токов при двухфазном к. з.

$$I''^{(2)} = 57\,200 \text{ А}; I_{\infty}^{(2)} = 37\,500 \text{ А};$$

$$\beta^{(2)} = \frac{I''^{(2)}}{I_{\infty}^{(2)}} = \frac{57\,200}{37\,500} = 1,53.$$

По рис. 6 и 8 определяем: $t_{\phi A}^{(2)} = 6,4$ сек; $t_{\phi D}^{(2)} = 0,3$ и $t_{\phi}^{(2)} = t_{\phi A}^{(2)} + t_{\phi D}^{(2)} = 6,9$ сек.

$$I_{\infty}^{(2)2} t_{\phi} = 31\,500^2 \cdot 8,2 = 8,13 \cdot 10^9;$$

$$I_{\infty}^{(2)2} t_{\phi}^{(2)} = 37\,500^2 \cdot 6,9 = 9,7 \cdot 10^9.$$

Проверку аппаратуры на термический эффект следует производить, исходя из двухфазного к. з.

2. По данным расчета токов к. з. на шинах 35 кВ для системы, состоящей из гидро- и турбогенераторов, получено:

$$I'' = 17\,200 \text{ А}; I' = 14\,700 \text{ А}; I_{\infty} = 10\,500 \text{ А}.$$

Выдержка времени реле $t = 3$ сек, имеем:

$$\beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}} = \frac{17\,200}{10\,500} = 1,64;$$

$$\beta' = \frac{I'}{I_{\infty}} = \frac{14\,700}{10\,500} = 1,40.$$

Согласно рис. 7 $t_{\phi A} = 4,5$ сек. По кривым рис. 8 находим при $T_d = 0,15$ сек $t_{\phi D} = 0,4$ сек.

Фиктивное время полного тока

$$t_{\phi} = t_{\phi A} + t_{\phi D} = 4,5 + 0,4 = 4,9 \text{ сек}.$$

Из рис. 9 убеждаемся, что при $\beta = 1,40$ и $t = 3,0$ сек проверки на двухфазное к. з. можно не производить.

Импульсный каскадный разряд на гирляндах изоляторов с защитной арматурой

А. В. Калантаров и П. Л. Краснов
Высоковольтная лаборатория Ленэнерго

БОЛЬШИНСТВО импульсных перекрытий изоляции линии электро-передач сопровождается последующей дугой рабочей частоты, которая иногда ведет или к авариям с большими разрушениями (особенно на подстанциях) или к авариям с незначительными разрушениями — обрыв гирлянды, пережог провода и т. п., но требующими большого времени для ремонта. Поэтому вопрос о форме защитной арматуры, обеспечивающей отвод дуги от поверхности изоляторов для защиты их от повреждения, является весьма существенным.

Не менее существенен для арматуры путь импульсного разряда, который предопределяет путь дуги рабочей частоты. При импульсном каскаде по изоляторам дуга, проходящая вслед за разрядом, прежде чем выйти на арматуру, часто производит значительные разрушения изоляторов, порой требующие смены всей гирлянды. Естественно поэтому стремление иметь на линиях передач такую арматуру, которая не только бы хорошо отводила дугу, но и предупреждала бы прежде всего импульсный каскад.

В настоящее время вопрос о рациональной форме арматуры с точки зрения отвода от поверхности изоляторов возникшей дуги освещен мало как в нашей, так и в иностранной литературе.

Исследование условий образования каскадного разряда на гирляндах было произведено Торком и Рамбергом [2]. Позже Торк и Эллис [3] дали кривую для выбора соотношений между длиной гирлянды, разносом и расстоянием между защитными арматурами, которая может быть применена к защитным рогам, относительно чего возникают, правда, некоторые сомнения, которые будут изложены ниже. Таким образом вопрос о выборе защитной арматуры, предотвращающей каскад по гирлянде, как будто, был решен.

Эксплуатационный опыт системы Ленэнерго и Свирьстроя показал, что с защитной арматурой дело обстоит не совсем благополучно. Грозовые аварии на 110 и 220-kV линиях вследствие неудовлетворительной работы арматуры по предотвращению каскадного разряда и отводу возникающей дуги часто сопровождались разрушением фарфора изоляторов и его ожогами различной степени, иногда обрывом гирлянд, пережогами и обрывом провода.

Анализ аварий в системе Ленэнерго и на линии Свирь — Ленинград, а также ряд ориентировочных импульсных испытаний, произведенных на гирляндах с защитной арматурой в высоковольтной лаборатории Ленэнерго, показали, что, несмотря на наличие арматуры, импульсный каскад возникает сравнительно легко даже при незначительных напряжениях. В связи с этим высоковольтная лаборатория Ленэнерго предпри-

няла ряд экспериментальных исследований каскадного разряда.

Вообще необходимость установки защитной арматуры в настоящее время нельзя считать бесспорной в особенности в связи с достигнутыми успехами в постройке грозоупорных линий. По видимому, там, где нужна большая эксплуатационная надежность, например магистральные линии, отдельные ответственные опоры (переходные), защитную арматуру следует устанавливать. Так например, на 220-kV линиях Сталиногорск — Москва [4], Свирь — Ленинград, Кэмб — Грэней (Франция [6]) и на 287-kV линии Боулдер-Дам (Америка [5]), а также на ряде других уже построенных линий [7] имеется или предусмотрена защитная арматура.

Высоковольтная лаборатория стремилась получить на основании импульсных испытаний при примерно постоянной амплитуде волны, обеих полярностях и данной защитной арматуре зависимости каскада от числа изоляторов в гирлянде, т. е. установить зависимость каскада от габаритных соотношений между гирляндой и арматурой (подобно американским исследованиям). Однако эти данные еще недостаточны для выбора арматуры, так как они не определяют зависимости каскада от напряжения. Сравнение вольтсекундных характеристик гирлянд и арматуры также не позволяет выявить это соотношение, так как при совместной работе гирлянды и арматуры их взаимодействие изменяет их собственные вольтсекундные характеристики. Поэтому были проведены непосредственные наблюдения импульсного каскада на гирляндах изоляторов с защитной арматурой при различных напряжениях и обеих полярностях.

В качестве объектов испытаний были выбраны типы арматуры, весьма распространенные на линиях передач системы Ленэнерго и Свирьстроя. К ним были добавлены несколько видоизмененные типы, предназначенные для последующего их испытания при мощных дугах.

Всего было подвергнуто испытанию (рис. 1) 5 типов рогов и 5 колец для 110-kV гирлянд и 5 типов колец для 220-kV гирлянд. Большинство остальных арматур представляло видоизменения этих основных. Плоские прямые обручи заменялись плоскими обручами, скошенными под углом 45°, обручами из труб диаметром 40 мм изменялась форма кронштейнов.

Для испытаний были взяты стандартные изоляторы П-4,5 П-7 и изоляторы Хьюллет-Локк, Хьюллет-Томас, значительно распространенные в системе Ленэнерго.

Исследования производились на 1800-kV импульсном генераторе лаборатории, работающем на открытом воздухе.

При изучении зависимости каскада от числа изоляторов в гирлянде при примерно постоян-

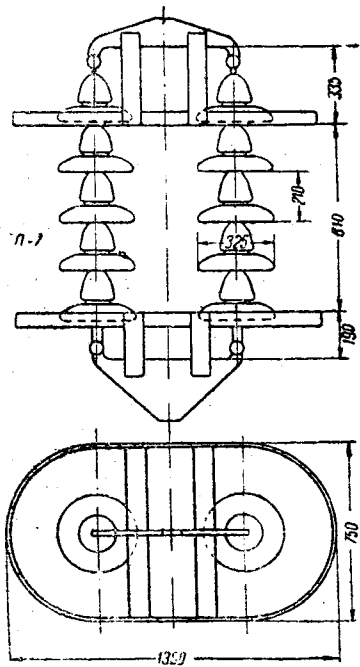


Рис. 1а

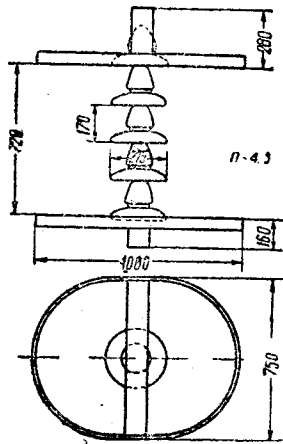


Рис. 1б

Рис. 1. Основные типы испытанных арматур. а, б — кольца 220-kV натяжных и подвесных гирлянд; рога для подвесных гирлянд ВЭО (в), Томас (г) и Локк (д); е — кольца круглые для подвесных 110-kV гирлянд с плоскими обручами, скошенными под углом 45°

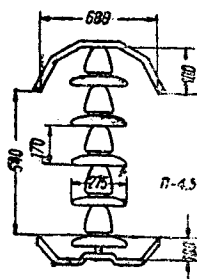


Рис. 1в

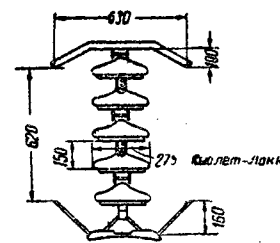


Рис. 1г

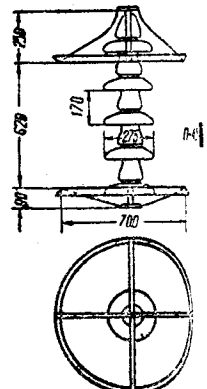


Рис. 1е

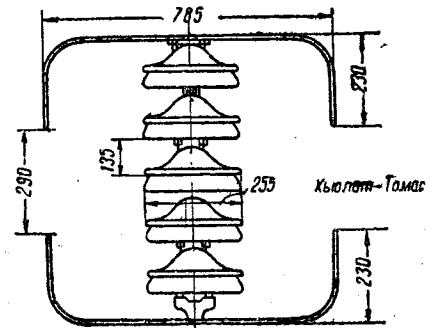


Рис. 12

ном напряжении число изоляторов варьировалось от 2—4 до такого числа их, когда импульсный генератор не в состоянии был произвести разряда на испытываемом объекте.

Гирлянды подвешивались вертикально; верхняя часть присоединялась к земле, а нижняя — к импульсному генератору. Волна, подаваемая на гирлянды, была с колебаниями, накладывающимися на основной апериодический разряд (все демпфирующие сопротивления генератора были замкнуты). Сопротивление, регулирующее длину хвоста волны, не включалось. Амплитуды посылаемых волн колебались в пределах 1400—1800 kV, в зависимости от атмосферных условий при испытании. Импульсы подавались со скоростью около 5—6 в минуту. Число импульсов для каждой гирлянды было не менее десяти, а в некоторых случаях оно доводилось до 20 и 30.

Во время этих испытаний, помимо непосредственных наблюдений за образованием каскада и его характером, следили за целостностью элементов в гирлянде, так как иногда происходил пробой отдельных изоляторов, что вело к резкому изменению характера разряда.

Испытанию были подвергнуты 13 различных комбинаций изоляторов и рогов и 21 комбинация изоляторов и колец.

Импульсный разряд происходил или на защитной арматуре или каскадировал по гирлянде, полностью или частично.

На основании полученных результатов испытаний были построены кривые, часть которых приведена на рис. 2. Цифры на кривых соответствуют номерам испытаний. Части кривых, лежащие в нулевой области, указывают на полное

отсутствие каскада — все разряды происходили между защитными арматурами. Части кривые, лежащие выше и ниже (для отрицательной полярности) линии 100%, относятся к тем случаям, когда все поданные импульсы вызывают каскад.

Зависимость импульсного каскада от напряжения при постоянном числе изоляторов в гирляндах снималась при двух волнах и при обеих полярностях. Первая соответствовала волне, указанной выше, а вторая волна была около $1/40 \mu$ сек. Порядок испытаний для всех комбинаций был принят следующий.

При данном числе изоляторов в гирлянде нижний предел напряжения устанавливался таким, чтобы все разряды были на защитной арматуре. Затем напряжение поднималось ступенями через 150—200 kV до предельного для импульсного генератора (1500—1800 kV). Для каждой точки давалось не менее 10 импульсов, следовавших друг за другом через промежутки времени не менее 10 сек. Напряжение каждый раз измерялось шаровым разрядником.

Всего было испытано 21 комбинация изоляторов и защитных арматур. Гирлянды в 14 случаях состояли из семи изоляторов. Это число изоляторов принято для гирлянд 110-kV линий передач, кроме того, оно удобно для экспериментирования (с точки зрения достаточной величины подаваемого напряжения). В остальных случаях число изоляторов менялось от 5 до 9. Каждая комбинация, как указывалось выше, испытывалась при двух волнах. На основании результатов испытаний были построены кривые, часть которых приведена на рис. 3.

Как видно из рис. 2, при весьма малом числе

изоляторов в гирлянде (2—3) защитные арматуры подходят настолько близко друг к другу по сравнению с длиной гирлянды, что разряд неизбежно происходит между ними. При увеличении числа изоляторов разряд с арматур переходит на гирлянду, каскадируя по ней полностью или частично. Уже при 3—4 изоляторах в гирлянде, несмотря на наличие арматуры, почти на всех испытанных гирляндах имеет место каскад. С дальнейшим увеличением числа вероятность полного каскада увеличивается. Наконец, при некотором числе изоляторов (8—10) каскад прекращается. Последнее обстоятельство может быть объяснено следующим образом. При испытаниях применялась постоянная волна, амплитуда которой была порядка 1400—1800 кВ. Естественно, что при испытании такой волной гирлянды, состоящей из двух, трех или четырех элементов,

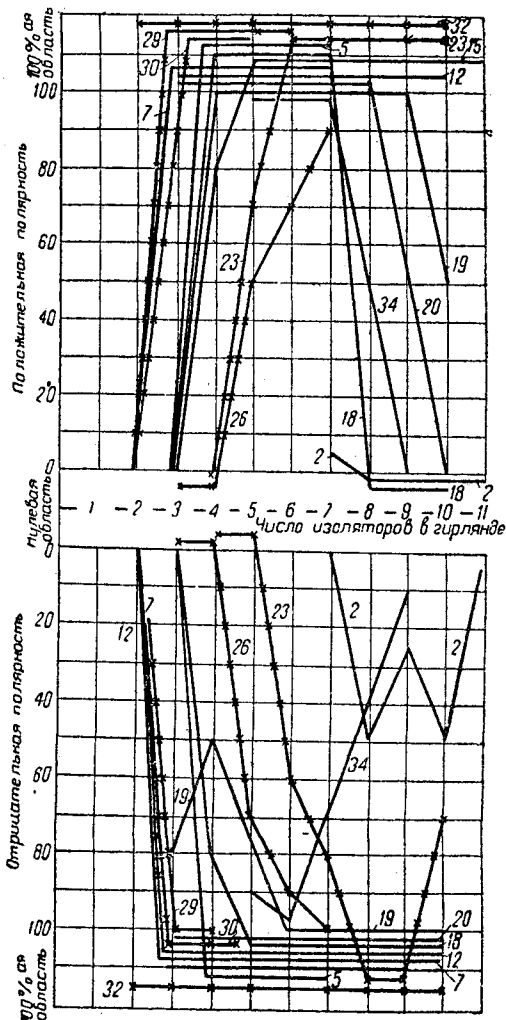


Рис. 2. Вероятность полного и частичного каскада в процентах от общего числа импульсов в зависимости от числа изоляторов в гирлянде. Подвесные гирлянды, изоляторы П-4,5 — кольца: 2 — 750×1350 мм из полосового железа (двойная натяжная гирлянда); 5 — круглые диаметром 700 мм из полосового железа под углом 45° ; 7 — 600×800 мм; 12 — 750×1000 мм из труб; 15 — круглые диаметром 700 мм из полосового железа; 18 — круглые диаметром 700 мм из труб; 19 — 750×1000 мм из полосового железа; 20 — сверху рога ВЭО, снизу — круглое кольцо диаметром 700 мм из полосового железа; 23 — Томас; 26 — ВЭО, 29 — ВЭО малые; 30 — ВЭО малые; 32 — опытные с разном 1000 мм

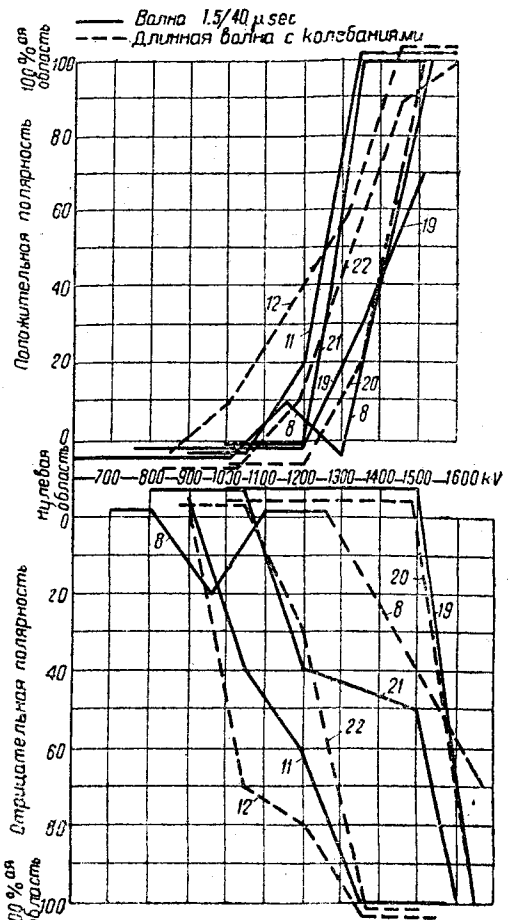


Рис. 3. Вероятность каскада в процентах от общего числа импульсов в зависимости от напряжения. Подвесные гирлянды из семи изоляторов П-4,5. Кольца 8 — 750×1000 мм из полосового железа; 11 и 12 — 750×1000 мм из труб; 19 и 20 — круглые диаметром 700 мм из труб; 21 и 22 — круглые диаметром 700 мм из полосового железа

разряд происходил на фронте волны. Кратность отношения амплитуды приложенной волны к минимальному импульсному разрядному напряжению испытываемого объекта в этом случае была очень велика (до 6—7) и время разряда очень мало. Вольтсекундные же характеристики для каскадного разряда по изоляторам и для разряда по воздуху между арматурой, по всей вероятности, пересекаются таким образом, что при малых временах разряда характеристика для каскада идет ниже, чем для разряда между арматурами, а при больших временах разряда наоборот. С увеличением числа изоляторов разряд с фронта волны постепенно переходит на хвост ее, а кратность уменьшается. Наконец, при некотором числе элементов в гирлянде достигается тот предел, при котором кратность приложенного напряжения недостаточна, чтобы вызвать каскад по гирлянде, т. е. время разряда уже переходит за точку пересечения вольтсекундных характеристик. В этом случае разряды или опять переходят на защитную арматуру или совершенно прекращаются. Необходимо отметить, что ни одна из испытанных 34 комбинаций при обеих полярностях и при изменении числа изоляторов в гирлянде не дает защиты для гирлянд от импульсного каскада.

Интересно проследить, как происходит каскад, например, при арматуре, применяющейся у нас в Союзе. Для нормальной арматуры 220-kV линий (кольца 750 × 1000 мм из полосового железа, рис. 1), установленной на линии Свирь — Ленинград и Сталиногорск — Москва, почти 100% каскад имеет место уже при 5 изоляторах П-4,5 (рис. 2, кривая 34); при большом числе изоляторов (9) каскад почти прекращается. Таким образом каскад на гирляндах при наличии испытанных защитных арматур начинается уже при небольшом числе изоляторов (3—5). При большом числе изоляторов каскад прекращается, но это объясняется, как это будет видно из дальнейшего, исключительно недостаточностью величины напряжения.

Для выяснения последовательности протекания каскада при изменении напряжения приведена таблица, в которой помещены весьма характерные данные испытания одной из комбинаций (7 элементов в гирлянде).

Наименьшее напряжение, которое необходимо для получения частичного или полного каскада, конечно, зависит от типа арматуры. Так например, для 8 испытанных гирлянд из семи изоляторов П-4,5 с различными защитными арматурами (включая все основные типы) это наименьшее напряжение лежит в пределах 825—1350 kV максимальных (900—1350 kV для отрицательной полярности и 825—1350 для положительной); при этом кратность по отношению к минимальному импульсному разрядному напряжению незащищенной гирлянды составляет при отрицательной полярности 1,15—1,72.

Что касается наименьших напряжений, необходимых для частичного или полного каскада при другом числе изоляторов, то для ориентировки в этом вопросе могут служить кривые для гирлянды из изоляторов П-4,5 с плоскими кольцами 750 × 1000 мм, приведенные на рис. 4.

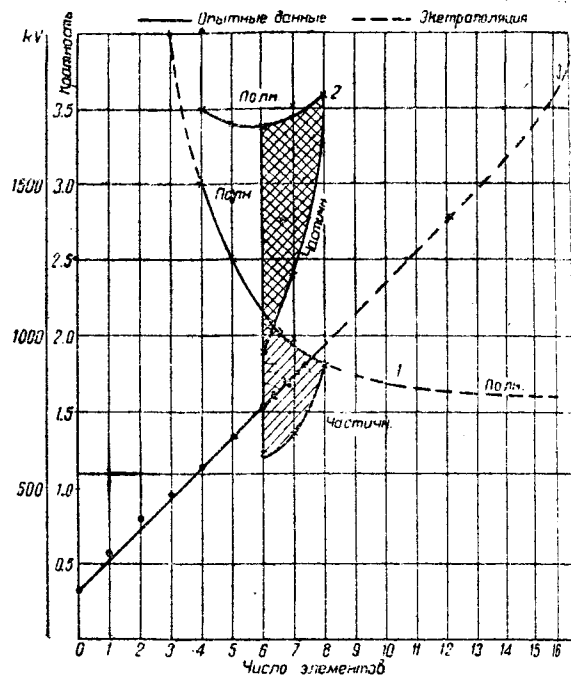


Рис. 4. Кривые для гирлянд изоляторов П-4,5 с кольцами 750 × 1000 мм из полосового железа. 1 — кратность напряжения для каскада по отношению к минимальному разрядному напряжению; 2 — напряжение для каскада при $1/40 \mu \text{ sec}$; 3 — минимальное импульсное разрядное напряжение

При небольшом числе элементов (5—6) для получения каскада необходимы значительные кратности напряжения, порядка 2,5—3 по отношению к минимальному импульсному разрядному напряжению для этого числа изоляторов, при этом эта кривая должна уходить в бесконечность. В 2—3 элементах, так как при таком малом числе изоляторов каскад получить не удастся. В большем числе изоляторов (7—9) частичный

Защитная арматура и тип изоляторов	Напря- жение kV	П о л я р н о с т ь								Волн
		Разряд между армату- рой %	положительная			Разряд между армату- рой %	отрицательная			
			каскад, %		полный		каскад, %		полный	
			частичный (число перекр. элем.)				частичный (число перекр. элем.)			
			от земли	от провода			от земли	от провода		
Подвесная гирлянда, рога Хьюлетт-Томас, изоляторы П - 4,5	800	100	0	0	0	100	0	0	0	1/40 мкс
	900	10	90(2)	0	0	100	0	0	0	
	1050	0	100(3)	0	0	70	0	10(3)	20	
	1200	0	80(4)	0	20	10	0	0	90	
	1350	0	30(4)	0	70	0	0	0	100	
	1500	0	20(5)	0	80	0	0	10	90	
То же	1500	—	—	—	—	0	0	0	100	Коль- тема
	725	100	0	0	0	—	—	—	—	
	850	10	90(3)	0	0	—	—	—	—	
	900	—	—	—	—	100	0	0	0	
	1050	10	90(4)	0	0	100	0	0	0	
	1200	0	80(4)	0	20	0	0	0	100	
	1300	0	20(6)	0	80	0	0	0	100	
	1450	0	30(6)	0	70	0	0	0	100	
	1600	0	20(5)	0	80	0	0	0	100	

кад возникает при меньших кратностях (до 1, 2). При еще большем числе элементов (свыше 9) происходит только полный каскад, причем кривая 1 при увеличении числа изоляторов стремится к некоторому пределу порядка 1,5—1,6. Пользуясь этими данными, можно приблизительно определить величину напряжения, необходимого для получения каскада для гирлянды из 13 элементов (для линии 220 kV).

Это напряжение примерно будет равно $1380 \cdot 1,6 = 2200$ kV.

Таким образом возникновение каскада на гирляндах изоляторов при испытанной защитной арматуре определяется только кратностью перенапряжения по отношению к минимальному импульсному разрядному напряжению. Наблюдавшееся исчезновение каскада при большом числе изоляторов (рис. 2) объясняется, следовательно, только недостаточной величиной напряжения.

Так как на линиях при прямых ударах молнии могут возникать на изоляции весьма значительные напряжения, несколько миллионов вольт, при больших крутизнах фронта, то, следовательно, всегда возможно и образование каскада.

Из всего числа проведенных опытов трудно установить преимущественный каскад для какой-либо полярности и можно считать, что при обеих полярностях вероятность каскада в общем одинакова. Это видно и из рис. 2 и 3.

Можно только отметить, что в некоторых случаях каскад более легко образуется при положительной полярности (например кривая 19, 20, рис. 3), а в других случаях при отрицательном напряжении (кривая 18, рис. 2). Отдельные случаи очень интересны. Так, рога Томас полностью защищают от каскада гирлянду из изоляторов П-7 при отрицательной полярности и не защищают при положительной; для изоляторов же Хьюлетт при тех же рогах получается как раз обратная картина. Влияние полярности заметным образом сказывается при частичном каскаде. Как правило, при положительной полярности разряд идет с нижней арматуры по воздуху, а затем каскадирует по верхним изоляторам, ближайшим к заземлению. На рис. 5 представлена фотография частичного каскада при положительной полярности на гирляндах из пяти изоляторов П-4,5, защищенной рогами ВЭО. На фотографии видно, как импульсный разряд сначала идет по воздуху, каскадируя затем по изоляторам. При отрицательной полярности частичный каскад имеет обратный характер. В этом случае разряд каскадирует по ближайшим к проводу изоляторам гирлянды с последующим переходом разряда по воздуху на верхнюю часть защитной арматуры.

Полученные данные с очевидностью убеждают в том, что ни кольца ни рога не защищают от импульсного каскада. Это имеет место при различных кольцах и рогах. Некоторое исключение оставляют рога гирлянд Хьюлетт-Томас (рис. 1), для которых в случае изоляторов П-7 и Хьюлетт-Томас каскад происходил только при одной полярности. Рога Хьюлетт имеют такую конструкцию, при которой верхний и нижний изоляторы гирлянды утоплены в рога настолько, что образование полного каскада почти невозможно. Тем

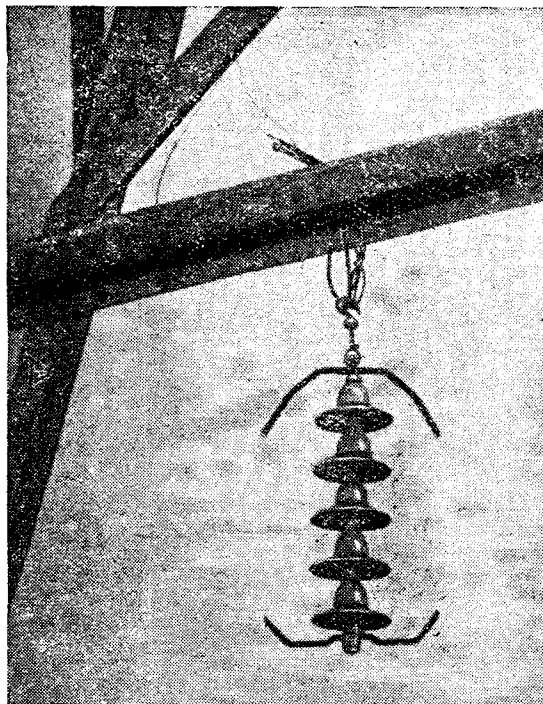


Рис. 5. Каскад при положительной полярности

не менее для изоляторов П-4,5 и при этих рогах каскад происходит легко.

Из полученных данных трудно установить, при каких изоляторах и одной и той же арматуре преимущественно происходит каскад. Но все же, как это отмечалось выше, несколько легче, пожалуй, возникает каскад для изоляторов П-4,5, как, например, для рогов Хьюлетт-Томас. Однако для всех типов изоляторов имеет место каскад, хотя бы и при одной полярности.

Сравнение с литературными данными. Как уже указывалось в начале статьи, Тороком и Рамбергом [2] были опубликованы еще в 1929 г. данные об импульсном каскаде по гирлянде изоляторов. Ими были произведены исследования для гирлянды из семи стандартных изоляторов (диаметр 254 mm, высота 143 mm), защищенной кольцами различных диаметров и с различным расстоянием между ними. Исследования были произведены при средней скорости нарастания напряжения на активной части фронта волны, равной $7000 \text{ kV}/\mu \text{ sec}$ (активная часть рассматривается от точки, соответствующей разрядному напряжению при 60 Hz). Других данных, относящихся к методике испытаний, не приводится.

В результате этих исследований были построены кривые (рис. 6), которые для гирлянды из семи элементов устанавливают каскадную и бескаскадную области и позволяют выбрать габариты защитных колец, предотвращающих каскад по гирлянде. В качестве примера Торок и Рамберг приводят выбор диаметра колец, расстояния между ними и диаметра материала колец для гирлянды из семи изоляторов общей длиной 980 mm. Габариты опоры позволяют выбрать радиус кольца не более 370 mm. Вводя некоторый коэффициент запаса, по приведенным на рис. 6 кривым получены следующие размеры: диаметр

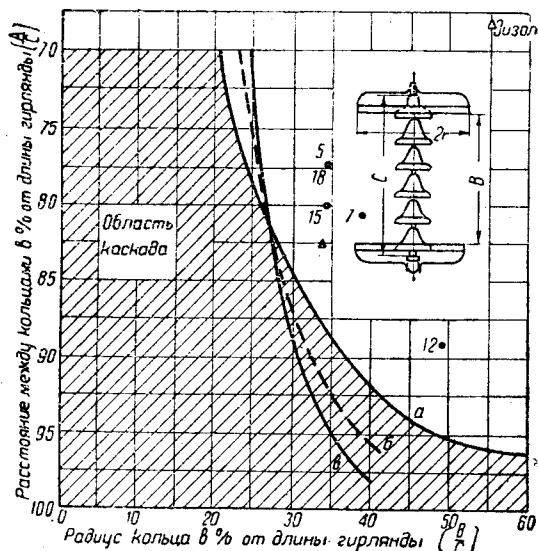


Рис. 6. Кривые Торока — Рамберга для выбора защитных колец и труб, предотвращающих каскад по гирлянде. Кольца из труб а — диаметр $1\frac{1}{4}$ "; б — $1\frac{1}{2}$ "; в — 2"

материала — 50 мм, диаметр кольца — 740 мм, расстояние между кольцами — 890 мм.

Из данных, полученных в высоковольтной лаборатории Ленэнерго, была выбрана комбинация, наиболее отвечающая по габаритам приведенному выше примеру, а именно опыт для пяти изоляторов П-7 с круглыми кольцами диаметром 700 мм из труб диаметром 40 мм. Соответствующее расположение точки, отвечающей этой гирлянде в координатных осях, предложенных

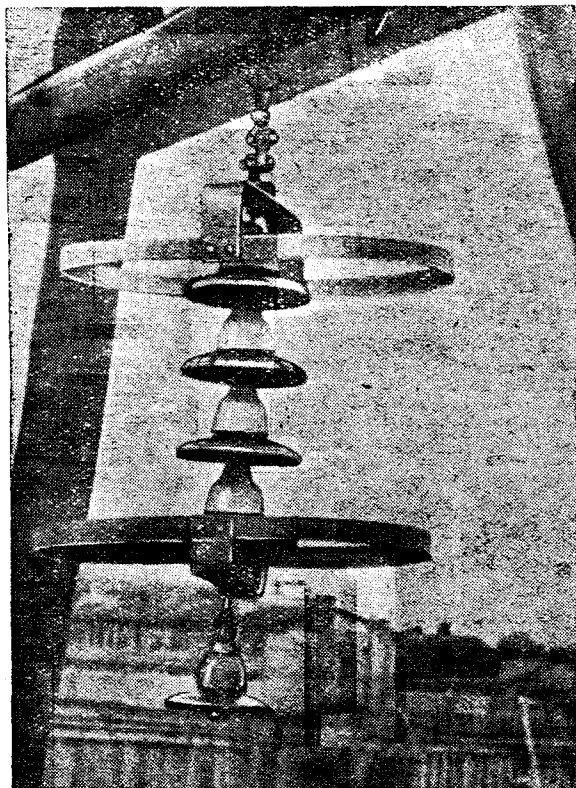


Рис. 7. Каскад на гирлянде из четырех изоляторов П-7. Кольца 750 × 1000 мм из полосового железа

Тороком и Рамбергом, помечено треугольником на рис. 6. Эта точка должна быть отнесена к кривой *b*. Как не трудно убедиться, точка эта находится в бескаскадной области.

При испытаниях был отмечен полный каскад не для пяти, а уже для трех изоляторов (с отрицательной полярности), т. е. для гирлянды находящейся глубоко в бескаскадной области (пометка Δ 3 изолятора на рис. 6). Далее были выбраны данные для гирлянд с различными кольцами из шести изоляторов П-4,5, что соответствует длине гирлянд, для которых Торок и Рамберг построили свои кривые. Для этих гирлянд на рис. 6 нанесены соответствующие точки, которые лежат в бескаскадной области и в этом довольно далеко от границы. Между тем для всех приведенных гирлянд имел место полный каскад уже при 4 элементах (см. рис. 6). Кривые соответствующего номера). Таким образом кривая Торока — Рамберга не обеспечивает правильного выбора защиты гирлянды от каскада.

Для иллюстрации на рис. 7 приведена фотография каскада для гирлянды, находящейся по отношению к каскаду в глубоко бескаскадной области.

Позже, в 1933 г., Тороком и Эллисом [3] была опубликована кривая (рис. 8), которая позволяет выбрать размеры для рогов, которые будут защищать гирлянду от каскада. Как и откуда появилась эта кривая, — Торок и Эллис не указывают. При более внимательном рассмотрении оказывается, что эта кривая совпадает с уже ранее опубликованной кривой (рис. 6) Торока и Рамберга, с той только разницей, что здесь кривая перевернута и что вместо размера $2R$ нужно считать размер A и вместо колец нарисованы рога. При этом, несмотря на то, что на рис. 8 точно воспроизведено из статьи Торока и Эллиса, нарисованы рога, при чтении текста статьи и надписи к рис. 8 возникают сомнения о применимости кривой, т. е. применима ли она к любой защитной арматуре или только к кольцам и к рогам.

На основании полученных нами результатов испытаний была сделана еще более полная, чем приведено выше, проверка применимости кривых Торока, Рамберга и Эллиса. С этой целью в данных, полученных высоковольтной лабораторией, находились отношения расстояний между арматурами или размеров арматур к длине гирлянды.

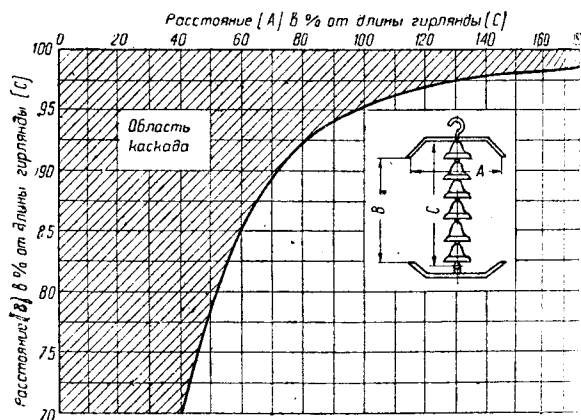


Рис. 8. Кривая Торока — Эллиса для выбора защитных арматур

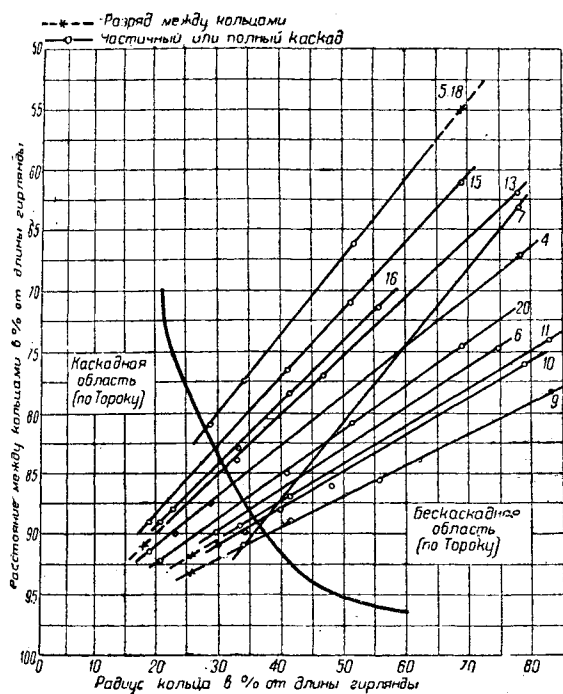
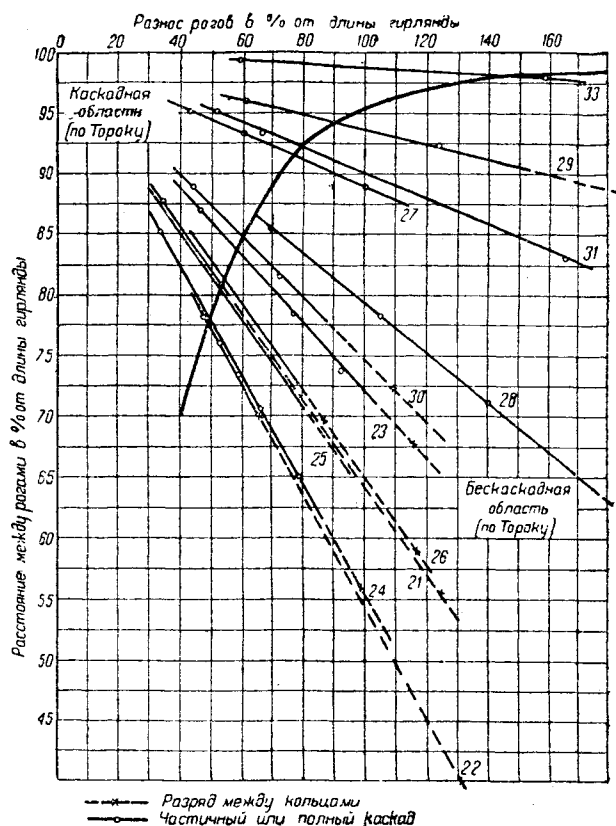


Рис. 9. Проверка кривой Торока — Рамберга

ланды. На рис. 9 и 10 построены прямые по полученным значениям отношений для колец и для рогов. Номера на прямых соответствуют номерам опытов (рис. 2). Точка, обозначенная кружком, указывает на наличие каскада, а точка, помеченная крестом, — на отсутствие каскада. При рассмотрении прямых рис. 9 обращает внимание то обстоятельство, что в бескакадной по Тороку и Рамбергу области почти совершенно нет крестов, т. е. мы имеем в глубоко «бескакадной» области каскад.

Прямые рис. 10 также не укладываются в предельную кривую Торока и Эллиса. Исключение составляют прямые 21 и 22, приблизительно удовлетворяющие этой кривой, но следует отметить, что рога Томас, для которых получены эти прямые, значительно снижают разрядное напряжение гирлянды. Таким образом, несмотря на то, что условия испытания в высоковольтной лаборатории Ленэнерго менее благоприятствовали каскаду (крутизна фронта 2000—2500 кВ/м сек вместо 7000 кВ/м сек в опытах Торока и Рамберга), результаты испытаний совершенно не подтвердили данных Торока, Рамберга и Эллиса и показали

Рис. 10. Проверка кривой Торока — Эллиса.
—X— разряд между рогами, —o— частичный или полный каскад

наличие каскада почти во всех практически применимых комбинациях чисел изоляторов и защитных арматур.

Литература

1. Защитные арматуры изоляторов при мощных дугах, «Электрические станции» № 11, 1935, стр. 19—31.
2. Торок и Рамберг, Импульсный разряд на изоляторах. Trans. AIEE, 1929.
3. Торок и Эллис, Проектирование линий передачи. El. Jour., декабрь 1933.
4. Линия 220 кВ Сталиногорск—Москва, «Электрические станции» № 11, 1934.
5. Линия передачи 287 кВ Боулдер-Дам, «Энергетическое обозрение» № 9, 1935.
6. Линия передачи 220 кВ во Франции, «Энергетическое обозрение» № 6, 1935.
7. Грозовые аварии на линиях 220 кВ США и Канады, «Энергетическое обозрение» № 2, 1935.

Применение тензорной алгебры в расчете скоростей восстановления напряжения на контактах выключателя

В. В. Гусев

Харьковский Электротехнический институт

До последнего времени расчет скоростей восстановления напряжения на контактах выключателей и предохранителей переменного тока высокого напряжения при прохождении тока через нулевое значение считался необходимым при всяких испытаниях этих аппаратов на предельно-отключаемую мощность как в условиях лаборатории разрывных мощностей, так и в сетях. Такой расчет давал предварительное представление зависимости процесса гашения дуги от параметров и конфигурации цепи. Кроме того, эти расчеты „обратимы“, т. е. ими можно пользоваться также для определения параметров цепи по снятой катодной осциллограмме гашения дуги, так как точное установление параметров цепи всегда представляет значительные трудности.

Величина скорости восстановления напряжения для данного типа выключателя в момент прохождения тока через нуль определяет, как один из главных факторов, длительность горения дуги, энергию ее и, следовательно, в известном смысле предельно-отключаемую мощность выключателя. Поэтому фактор скорости учитывается при определении разрывной мощности выключателя, и, повидимому, должен фигурировать в той или иной форме в математическом выражении величины этой мощности. Очевидно, такие расчеты имеют существенное значение и для выбора выключателя при проектировании электрических установок.

В последнее время в периодической литературе появились сведения об экспериментах, подтверждающих влияние типа выключателя на скорость восстановления напряжения. Известна также зависимость скорости от величины напряжения. Это дало повод к высказыванию крайних мнений. Полагают, что, пока не будет исследован вопрос о влиянии физического состояния дугового промежутка на скорость, нецелесообразно производить расчеты скоростей по параметрам и конфигурации сети. Однако едва ли с этим можно согласиться по следующим причинам.

Из упомянутых экспериментов следует, что влияние дугового промежутка на скорость заметно только для выключателей со свободной дугой, удельное значение которых в настоящее время становится все меньше. При идеальных выключателях влияние промежутка, повидимому, совсем не сказывается.

Расчет скорости по данным сети целесообразно выполнять потому, что эта скорость является полноценной характеристикой цепи, в условиях которой работает выключатель.

Если параметры цепи установлены, то для выполнения точного расчета величины восстанавливающегося напряжения необходимо составить дифференциальное уравнение переходного процесса каждого контура. Применение операционного исчисления в значительной мере сокращает время, потребное для решения задачи. Тем не менее при большом количестве контуров в сложных цепях решение системы уравнений, выраженных в операционной форме, весьма затруднительно. В этом случае целесообразно применить наряду с операционным исчислением тензорную алгебру¹, что мы и попытаемся в настоящей работе.

Предварительно сделаем несколько кратких указаний о происхождении применяемых в расчете формул.

Допустим², что три индуктивных катушки a , b и c имеют электрические заряды (обобщенные координаты) q^a , q^b и q^c ; a , b и c — индексы.

Величина вектора количества электричества трех катушек может быть выражена так:

$$q = q^a \sigma_a + q^b \sigma_b + q^c \sigma_c,$$

где σ — единичный вектор.

¹ Возможность использования тензорного исчисления для расчета неустановившихся режимов в электрических цепях доказал G. Krop в ряде статей, опубликованных в GER в 1935 и 1936 гг.

² Предполагаем, что основные сведения из тензорной алгебры читателю известны.

Производные выбранных обобщенных координат по времени дают электрические токи, протекающие через катушки:

$$i^a = \frac{dq^a}{dt}; \quad i^b = \frac{dq^b}{dt} \quad \text{и} \quad i^c = \frac{dq^c}{dt}.$$

Пространственный вектор тока трех катушек будет:

$$i = i^a \sigma_a + i^b \sigma_b + i^c \sigma_c.$$

При соединении катушек в каком-либо порядке токи и заряды в них будут определяться новыми условиями. Операцию соединения катушек будем рассматривать как преобразование величин тока и заряда к новым координатам $q^{a'}$, $q^{b'}$ и $q^{c'}$.

Для преобразования координат могут быть использованы формулы вида:

$$dq^m = \sum_{a=a'}^{c'} \frac{\partial q^m}{\partial q^{a'}} dq^{a'},$$

где $m = a, b, c$ и $a = a', b', c'$.

Обозначив $\frac{\partial q^m}{\partial q^{a'}} = c_a^m$ и опустив знак суммирования, поскольку индекс, по которому производится суммирование, повторяется дважды, будем иметь:

$$dq^m = c_a^m dq^{a'}.$$

Это выражение можно рассматривать как контравариантный вектор. Если разделить обе части последнего равенства на dt , то получим:

$$i^m = c_a^m i^{a'}.$$

Работа w остается неизменной при любом преобразовании координат:

$$w = e_m q^m = \text{inv} \quad \text{и} \quad \frac{\partial w}{\partial q^m} = \sum_{a=a'}^{c'} \frac{\partial q^a}{\partial q^m} \frac{\partial w}{\partial q^a} i^a$$

Если

$$\frac{\partial q^a}{\partial q^m} = c_m^a, \quad \frac{\partial w}{\partial q^m} = e_m \quad \text{и} \quad \frac{\partial w}{\partial q^a} = e_a,$$

то

$$e_m = c_m^a e_a.$$

Следовательно, напряжение можно рассматривать как ковариантный вектор, при этом

$$c_m^a = \frac{\partial q^a}{\partial q^m} = \frac{1}{\frac{\partial q^m}{\partial q^a}} = c_a^{m-1}.$$

Допустим, что каждая из трех катушек a , b и c имеет параметры R , L и C , а взаимоиндуктивность между ними M . Если к каждой катушке приложить напряжение e , то связь между токами и напряжениями может быть представлена в операционной форме следующим образом:

$$\begin{aligned} e_a &= Z_{aa} i^a + Z_{ab} i^b + Z_{ac} i^c; \\ e_b &= Z_{ba} i^a + Z_{bb} i^b + Z_{bc} i^c; \\ e_c &= Z_{ca} i^a + Z_{cb} i^b + Z_{cc} i^c. \end{aligned}$$

Здесь

$$R_{aa} + L_{aa} p + \frac{1}{C_{aa}} = Z_{aa} \quad \text{и т. д.};$$

$$M_{ab} = Z_{ab} \quad \text{и т. д.};$$

p — оператор Хевисайда.

Эту систему можно изобразить так:

$$e_m = Z_{mn} i^n$$

Вектор напряжения, как ковариантный вектор, будем

бразжать строчкой, а вектор тока, как контравариантный, — столбцом:

$$e_m = (e_a, e_b, e_c) \text{ и } i_m = \begin{pmatrix} i^a \\ i^b \\ i^c \end{pmatrix}.$$

Импеданс Z_{mn} представляется матрицей:

$$Z_{mn} = \begin{pmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{pmatrix}.$$

Таким образом система уравнений Кирхгофа представлена в форме закона Ома, только напряжения и ток являются пространственными векторами, а импеданс — сложным комплексным числом.

Зная законы преобразования векторов тока и напряжения, уравнения (1), (2), найдем способ преобразования импеданса Z_{mn} при пересоединении катушек.

Если в уравнение (3) подставить e_m из уравнения (2) и i^m из (1), то получим:

$$c_m^a e_a = Z_{mn} c_n^b i^b.$$

Помножив равенство на $c_m^{a-1} = c_m^a$

и обозначив

$$Z_{a\beta} = Z_{mn} c_n^m c_\beta^m, \quad (4)$$

будем иметь:

$$e_a = Z_{a\beta} i^\beta.$$

Как известно, система величин, которая преобразуется при изменении координат подобно (1), (2) и (4), является тензорной системой. Если требуется определить ток по данному вектору напряжения, то можно использовать уравнение:

$$i^\beta = Y^{\beta\alpha} e_\alpha.$$

Тензор проводимости

$$Y^{\beta\alpha} = Y^{nm} c_n^\beta c_m^\alpha.$$

Для расчета скоростей восстановления напряжения на контактах выключателя тензорная алгебра может быть использована следующим образом. При расчете будем пренебрегать активными сопротивлениями и взаимной индукцией ($R=0$ и $M=0$). Однако при необходимости и эти величины могут быть учтены.

Допустим, что нужно определить скорость нарастания напряжения для схемы, часть которой изображена на рис. 1. Схема есть результат ряда упрощений и соответствует случаю размыкания цепи выключателем при трехполюсном к. з., причем точка к. з. имеет свою емкость по отношению к земле и создается металлическим соединением проводов (дуга отсутствует). Параметры в цепи являются сосредоточенными.

Для определения восстанавливающегося напряжения на контактах $x-x$ необходимо определить токи, протекающие через Z_{ff} и Z_{cc} , как функции времени. Это даст нам возможность найти напряжения на Z_{ff} и Z_{cc} , т. е. напряжение на $x-x$.

Старая система координат. Допустим, что все Z_{aa} , Z_{bb} и т. д. не соединены между собой, тогда система этих s импедансов может быть представлена в виде матрицы тензора Z_{mn} :

$$Z_{mn} = \begin{matrix} & \begin{matrix} a & b & \dots & s \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ \vdots \\ s \end{matrix} & \begin{pmatrix} Z_{aa} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{bb} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_{ss} \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Токи, соответствующие этим импедансам, будут i^a , i^b и т. д., или в общем виде i^m , а напряжения e_a , e_b и т. д., или e_m .

Новая система координат. Соединение импедансов Z_{aa} , Z_{bb} и т. д. в данную схему рассматриваем, как изменение обобщенных координат. Токи в этом случае будут соответ-

ственно $i^{a'}$, $i^{b'}$ и т. д., или в общем виде i^{α} , а напряжения $e_{a'}$, $e_{b'}$ и т. д., или e_α .

Величины $e_{a'}$, $e_{b'}$ и т. д. в условиях данной сети должны быть определены, как это обычно принимают в расчетах восстанавливающегося напряжения, только для индуктивностей, т. е. емкости не имеют предварительных зарядов. При необходимости эти заряды могут быть также учтены без значительных затруднений.

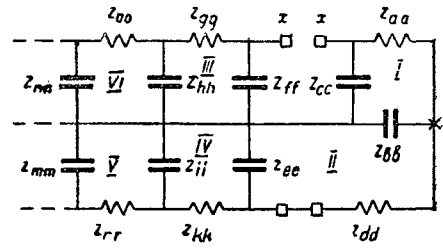


Рис. 1

Величины приложенных к индуктивностям напряжений в момент прохождения тока через нулевое значение определяются по уравнению:

$$e_{a'} = \frac{L_a}{\Sigma L} E_m,$$

где L_a — величина рассматриваемой индуктивности;

ΣL — общий реактанс цепи к. з.;

E_m — амплитуда напряжения холостого хода.

Эти все напряжения действуют в одном направлении и могут быть заданы матрицей:

$$e_{a'} = \begin{pmatrix} a & a' & d' & g' \\ e_{a'} & e_{a'} & e_{g'} & \dots \end{pmatrix}$$

Таким образом, если уточнить или даже изменить уравнение для определения $e_{a'}$, $e_{d'}$ и т. д., то методика в целом не изменяется: матрица e_α будет иметь одинаковый вид.

Величины L_a и ΣL могут быть определены для сложных сетей из схем, составленных для определения эффективного значения первой полуволны симметричной составляющей тока к. з.

Система старых токов связана с системой новых токов уравнением:

$$i^m = c_a^m i^a.$$

Для определения тензора преобразования c_a^m необходимо составить систему уравнений, из которых каждое связывает старый ток, соответствующий данному импедансу, с новым, протекающим через этот импеданс при включении его в данную схему, т. е.

$$i^a = i^{a'}$$

$$i^b = i^{a'} - i^{d'}$$

$$i^c = i^{a'} \quad \text{и т. д.,}$$

$$\text{или: } c_a^m = \begin{matrix} m \backslash \begin{matrix} a' & d' & \dots \end{matrix} \\ \begin{matrix} a \\ b \\ c \\ \vdots \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & \\ 1 & -1 & \\ 1 & 0 & \\ & & \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Как уже указывалось, для решения задачи нам необходимо знать систему токов, протекающих по контурам при прило-

жении данной системы напряжений к индуктивностям, т. е. найти для новых координат:

$$i^{\beta} = Y^{\beta\alpha} e_{\alpha}.$$

Причем тензор проводимости

$$Y^{\beta\alpha} = Z_{\alpha\beta}^{-1},$$

где

$$Z_{\alpha\beta} = Z_{mn} c_{\alpha}^m c_{\beta}^n.$$

Здесь c_{β}^n составляется аналогично c_{α}^m и, таким образом, все величины известны. Чтобы найти $Z_{\alpha\beta}^{-1}$ по $Z_{\alpha\beta}$, как известно, необходимо найти транспонированную матрицу, подставить в нее вместо элементов алгебраическое дополнение их и полученную матрицу разделить на определитель матрицы $Z_{\alpha\beta}$, предполагая, что эта последняя не является особенной матрицей.

Ниже приводится пример применения тензорного исчисления для расчета восстанавливающегося напряжения в 3-частотной цепи. Этот пример надо рассматривать только как краткую иллюстрацию методики применения алгебры тензоров. Но совершенно ясно, что использование тензорного исчисления для расчета восстанавливающегося напряжения целесообразно только в случае большого количества контуров.

Пример расчета для 3-частотной цепи. Возьмем случай однополюсного к. з., для которого обычно упрощенная схема по рис. 2. В схеме все сопротивления обозначены через Z .

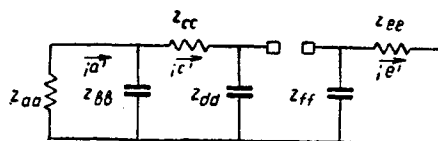


Рис. 2

$i^{a'}$, $i^{c'}$ — токи, протекающие соответственно в импедансах Z_{aa} , Z_{cc} и т. д. в случае их соединения в данную схему, т. е. они относятся к новым координатам.

Для нахождения тензора преобразования c_{α}^m составим соотношения токов в старой и новой системах координат:

$$\begin{aligned} i^a &= i^{a'} + 0 + 0 \\ i^b &= i^{a'} - i^{c'} + 0 \\ i^c &= 0 + i^{c'} + 0 \\ i^d &= 0 + i^{c'} + 0 \\ i^e &= 0 + 0 + i^{e'} \\ i^f &= 0 + 0 + i^{e'} \end{aligned} \quad c_{\alpha}^m = \begin{array}{c|ccc} m \backslash \alpha & a' & c' & e' \\ \hline a & 1 & 0 & 0 \\ b & 1 & -1 & 0 \\ c & 0 & 1 & 0 \\ d & 0 & 1 & 0 \\ e & 0 & 0 & 1 \\ f & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Найдем по указанным выше правилам тензор проводимости:

$$Y^{\beta\alpha} = \frac{1}{D(Z_{\alpha\beta})}.$$

$(Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd})(Z_{ee} + Z_{ff})$	$Z_{bb}(Z_{ee} + Z_{ff})$	0
$Z_{bb}(Z_{ee} + Z_{ff})$	$(Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{ee} + Z_{ff})$	0
0	0	$(Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd}) - Z_{bb}^2$

Произведение тензоров:

$$Z_{mn} c_{\alpha}^m = Z_{\alpha n} = \begin{array}{c|cccccc} m \backslash n & a & b & c & d & e & f \\ \hline a & Z_{aa} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b & 0 & Z_{bb} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c & 0 & 0 & Z_{cc} & 0 & 0 & 0 \\ d & 0 & 0 & 0 & Z_{dd} & 0 & 0 \\ e & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ee} & 0 \\ f & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ff} \end{array} \quad m \backslash \alpha \quad \begin{array}{c|ccc} \alpha & a' & c' & e' \\ \hline a & 1 & 0 & 0 \\ b & 1 & -1 & 0 \\ c & 0 & 1 & 0 \\ d & 0 & 1 & 0 \\ e & 0 & 0 & 1 \\ f & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$Z_{\alpha n} = \begin{array}{c|cccccc} \alpha \backslash n & a & b & c & d & e & f \\ \hline a' & Z_{aa} & Z_{bb} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c' & 0 & -Z_{bb} & Z_{cc} & Z_{dd} & 0 & 0 \\ e' & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ee} & Z_{ff} \end{array}$$

Найдем $Z_{\alpha\beta}$, считая, что тензор c_{β}^n составляется аналогично c_{α}^m :

$$Z_{\alpha\beta} = Z_{\alpha n} c_{\beta}^n = \begin{array}{c|cccccc} \alpha \backslash n & a & b & c & d & e & f \\ \hline a' & Z_{aa} & Z_{bb} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c' & 0 & -Z_{bb} & Z_{cc} & Z_{dd} & 0 & 0 \\ e' & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_{ee} & Z_{ff} \end{array} \quad n \backslash \beta \quad \begin{array}{c|ccc} \beta & a' & c' & e' \\ \hline a & 1 & 0 & 0 \\ b & 1 & -1 & 0 \\ c & 0 & 1 & 0 \\ d & 0 & 1 & 0 \\ e & 0 & 0 & 1 \\ f & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$Z_{\alpha\beta} = \begin{array}{c|ccc} \alpha \backslash \beta & a' & c' & e' \\ \hline a' & Z_{aa} + Z_{bb} & -Z_{bb} & 0 \\ c' & -Z_{bb} & Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd} & 0 \\ e' & 0 & 0 & Z_{ee} + Z_{ff} \end{array}$$

Определитель $D(Z_{\alpha\beta}) = (Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd})(Z_{ee} + Z_{ff}) - Z_{bb}^2(Z_{ee} + Z_{ff})$.

$\beta \backslash \alpha$	a'	$\frac{(Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd})(Z_{ee} + Z_{ff})}{D(Z_{\alpha\beta})}$	$\frac{Z_{bb}(Z_{ee} + Z_{ff})}{D(Z_{\alpha\beta})}$	0
	c'	$\frac{Z_{bb}(Z_{ee} + Z_{ff})}{D(Z_{\alpha\beta})}$	$\frac{(Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{ee} + Z_{ff})}{D(Z_{\alpha\beta})}$	0
	e'	0	0	$\frac{(Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd}) - Z_{bb}^2}{D(Z_{\alpha\beta})}$

Из этих матриц находим токи:

$$i = \frac{Z_{bb}(Z_{ee} + Z_{ff})}{D(Z_{\alpha\beta})} e_{a'} + \frac{(Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{ee} + Z_{ff})}{D(Z_{\alpha\beta})} e_{c'}$$

$$i_{e'} = \frac{(Z_{aa} + Z_{bb})(Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd}) - Z_{bb}^2}{D(Z_{\alpha\beta})} e_{e'}$$

Производя сокращения и подставив вместо импедансов Z , которыми в общем виде были обозначены параметры цепи, выражения

$$Z_{aa} = pL_1; \quad Z_{bb} = \frac{1}{pC_1}; \quad Z_{cc} = pL_2; \quad Z_{dd} = \frac{1}{pC_2};$$

$$Z_{ee} = pL_3 \text{ и } Z_{ff} = \frac{1}{pC_3},$$

где p — оператор Хевисайда, найдем в операционной форме:

$$u_c = \frac{E_m}{L_1 + L_2 + L_3} \left[\frac{p^2 L_1 L_2 C_1 + L_1 + L_2}{p^4 L_1 L_2 C_1 C_2 + p^2 (L_1 C_1 + L_2 C_2 + L_1 C_2) + 1} + \frac{L_3}{1 + p^2 L_3 C_3} \right].$$

Напряжения на импедансах Z_{aa} , Z_{cc} и Z_{ee} :

$$e_{a'} = \frac{Z_{aa}}{Z_{aa} + Z_{cc} + Z_{ee}} E_m; \quad e_{c'} = \frac{Z_{ee}}{Z_{aa} + Z_{cc} + Z_{ee}} E_m;$$

$$e_{e'} = \frac{Z_{cc}}{Z_{aa} + Z_{cc} + Z_{ee}} E_m.$$

Восстанавливающееся напряжение:

Решение этого уравнения известно⁸.

⁸ См., например, статью Л. Е. Машкиллейсона в сборнике „Высоковольтное аппаратостроение“, ОНТИ, 1935.

$$u_c = i_{c'} Z_{dd} + i_{e'} Z_{ff} = u_c = \frac{E_m}{Z_{aa} + Z_{cc} + Z_{ee}} \times$$

$$\times \frac{Z_{aa} Z_{bb} Z_{dd} (Z_{ee} + Z_{ff}) + Z_{cc} Z_{dd} (Z_{aa} + Z_{bb}) (Z_{ee} + Z_{ff}) + Z_{ee} Z_{ff} (Z_{aa} + Z_{bb}) (Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd}) - Z_{bb}^2 Z_{ff} Z_{ee}}{(Z_{aa} + Z_{bb}) (Z_{bb} + Z_{cc} + Z_{dd}) (Z_{ee} + Z_{ff}) - Z_{bb}^2 (Z_{ee} + Z_{ff})}.$$

Литература

1. Гохман, Введение в тензорное исчисление НТИ Украины, 1935.
2. Рашевский, Введение в Риманову геометрию и тензорный анализ.
3. Широков, Тензорное исчисление. ГТТИ, 1934.

4. Park & Skeats, Circuit Breaker Recovery Voltages Trans. AIEE, v. 50, 1931.

5. Van Sicle & Berkey, Arc Extinction Phenomena in High Voltage Circuit Breakers. Trans. AIEE, Sept. 1933.

6. G. Kron, The Application of Tensors to the Analysis of Rotating Electrical Machinery. GER, 1935—1936.

Автоматический магнитный осциллограф ВЭИ

П. И. Сазанов
ВЭИ

ПЕРВЫЕ работы по магнитной записи быстропеременных гармонических колебаний относятся к 1898—1900 гг. В это время датский инженер Вольдемар Паульсен предложил использовать для записи, сохранения и воспроизведения звука (музыки, разговора, пения) свойство гистерезиса ферромагнетика.

Пишущее поле в опытах Паульсена создавалось особым электромагнитом, приключенным к микрофону. В микрофоне записываемый звук преобразовывался в электрические синусоидальные колебания. Электромагнит создавал переменное магнитное поле, частота и амплитуда которого соответствовали звуковым колебаниям.

Этим полем Паульсен воздействовал на стальную проволоку или ленту, которая во время записи непрерывно и с постоянной скоростью перемещалась под электромагнитом.

При этом в каждой точке вдоль ленты, испытывавшей воздействие электромагнитного поля, образовывался остаточный магнетизм, по величине индукции соответствовавший мгновенному значению поля.

Намагниченная таким образом лента представляла собой непрерывную цепочку постоянных магнитов (рис. 1). Возникавшие вокруг ленты поля рассеяния Паульсен использовал для репродукции записанного звука. Носитель записи (лента) перемещался с постоянной скоростью перед другим электромагнитом, который подключался на телефон. Поля рассеяния носителя записи наводили в этом электромагните переменные э. д. с., которые и воспроизводились в телефоне в виде звука.

Описанный здесь способ магнитной записи и ее репродукции в основном сохранился и до сих пор.

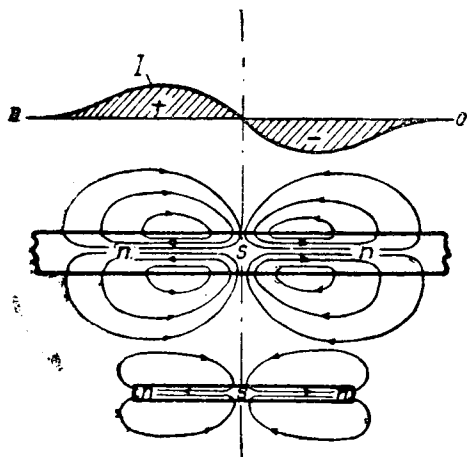
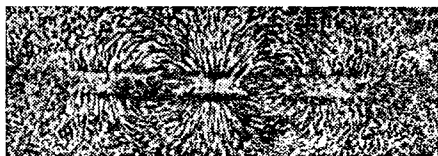


Рис. 1. Поле рассеяния ленты, продольно намагниченной переменным полем

У нас в Союзе работы по магнитной записи начались в 1931—1932 гг. в ВЭИ. В 1934 г. был изготовлен аппарат для магнитной записи распоряжений диспетчера и ответов дежурного персонала энергосистемы для диспетчерского пункта Мосэнерго.

Магнитный осциллограф для целей автоматического осциллографирования аварий был построен и установлен на Кожуховской подстанции Мосэнерго в 1936 г. Полученные осциллограммы как в отношении чистоты и однородности записи, так и пропорционального воспроизведения синусоидальных величин сравнимы с обычными осциллограммами шлейфового осциллографа, хотя и уступают им еще в этом.

В отличие от электромагнитных шлейфовых автоматических осциллографов, включающихся на запись лишь спустя несколько периодов после начала аварии, запись явлений на стальной ленте производится магнитным осциллографом непрерывно, т. е. и во время нормального режима системы. Одновременно с записью на известном интервале по длине ленты происходит стирание записываемого посредством достаточно сильного постоянного потока. С возникновением аварии в системе магнитный осциллограф через определенный промежуток времени выключается из работы с помощью реле, реагирующего на аварию.

В осциллографе ВЭИ принцип непрерывной записи осуществлен следующим образом (рис. 2).

Часть ленты, находящаяся во внутреннем промежутке электромагнитов, между пунктами I и II, свободна от записи. Вся остальная часть ленты записана регистрируемым током нормальной величины. Предположим, что в момент времени

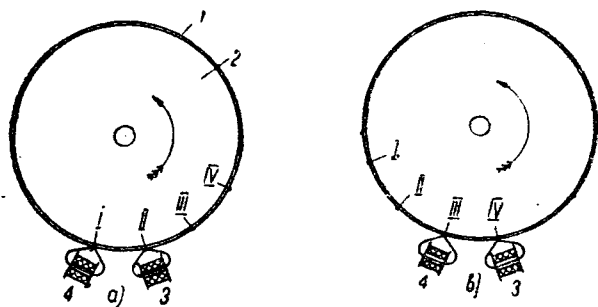


Рис. 2. Схемы, поясняющие принципы непрерывной записи в магнитном осциллографе ВЭИ. 1 — лента записи; 2 — барабан; 3 — 4 — электромагнит записи и стирания. а — положение ленты в момент включения осциллографа; б — в момент выключения

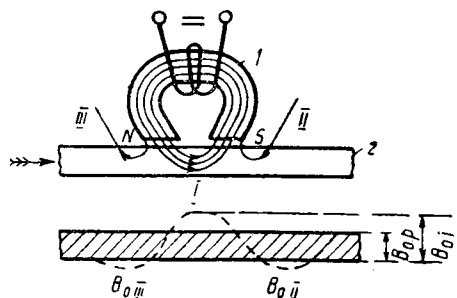


Рис. 3. Распределение индукции вдоль ленты при двух полюсном стирании. 1 — электромагнит стирания; 2 — лента (стрелка показывает направление вращения ленты)

произошла авария. Барабан во время аварии продолжает вращаться с неизменной скоростью. Через промежуток времени Δt места ленты III и IV займут положения под электромагнитами (схема б) и произойдет автоматическое выключение электромагнитов записи и стирания одновременно. Часть ленты III, IV будет свободна от записи. На части ленты, между точками II и III (внутри) сохранится запись нормального режима, предшествовавшего началу аварии. Вся остальная часть ленты (II, I, IV) окажется записанной током аварии, а при кратковременности ее — частично в нормальном режиме, установившегося после выключения аварии.

Время от начала аварии до момента выключения осциллографа из работы Δt является одним из его основных параметров.

Сильное стирающее намагничивание ленты, близкое к насыщению перед новой записью означает, что ее намагничивание во время записи происходит по петле гистерезиса. Наиболее выгодным значением для величины напряженности стирающего поля было бы, очевидно, то, которое намагни-

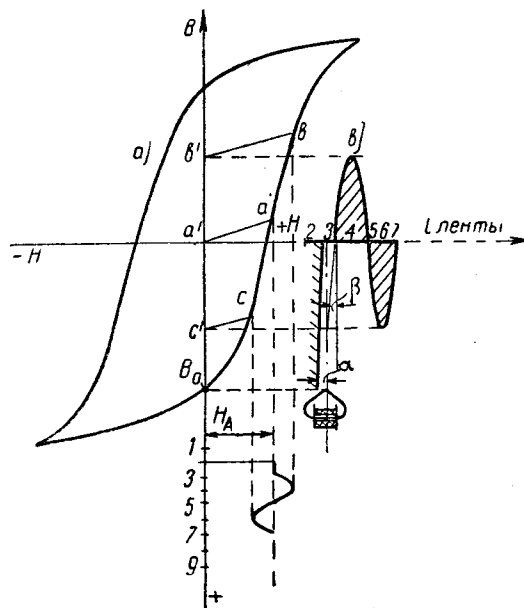


Рис. 4. Распределение остаточной индукции на ленте осциллографа при намагничивании переменным током

вало бы ленту до индукции $B_{\max}$. При этом достигалась бы абсолютная гарантия как полного стирания записи и, следовательно, придания ленте магнитной однородности во всех точках ее, так и обеспечение максимальной величины части кривой петли гистерезиса, пригодной для пропорциональной записи.

Во избежание полей слишком больших напряженностей приходится, однако, ограничивать намагничивание ленты до индукции, лежащей немного ниже колена кривой намагничивания.

Действие на ленту электромагнита стирания показано на рис. 3. Полный поток его, проходящий через материал ленты, состоит из главного намагничивающего потока и двух потоков рассеяния II и III. Если бы электромагнит стирания действовал на неподвижную ленту, вызывая в ней местное намагничивание, то при размыкании цепи тока электромагнита или при удалении его с ленты распределение

остаточной индукции на намагниченной части ленты соответствовало бы показанному на рис. 3 пунктирной кривой. При непрерывном действии электромагнита на движущуюся ленту будет происходить непрерывное намагничивание ее главным потоком I и последующее частичное размагничивание его потоком рассеяния II .

Потоки II и III по сравнению с главным потоком невелики. Поэтому результирующий остаточный магнетизм ленты $B_{ор}$ намного отличается от $B_{ол}$. Однако при любых их соотношениях стирающий эффект создается лишь главным наибольшим потоком. Магнитное состояние части ленты по выходе ее из-под электромагнита стирания характеризуется определенной точкой B_0 на кривой ее петли гистерезиса (рис. 4). В таком состоянии лента попадает под действие электромагнита записи (рис. 5). Если бы пишущее поле электромагнита записи создавалось только регистрируемым синусоидальным током, то запись его на ленте неизбежно была бы искажена с искажением. Одни из полувольт регистрируемого тока — правые — создавали бы для отдельных точек ленты

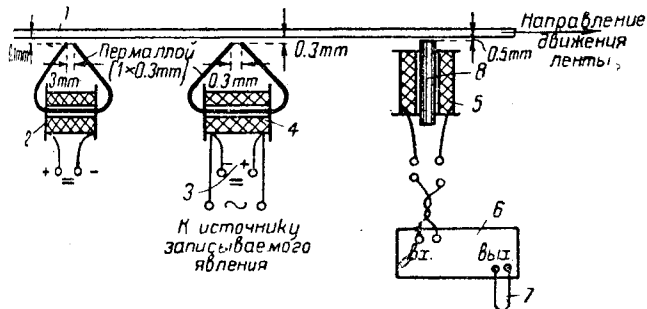


Рис. 5. Схема магнитной записи и ее репродукции. 1 — стальная лента; 2, 4 и 5 — электромагниты стирания; записи и подмагничивания; репродукции; 3 — подмагничивание; 6 — усилитель; 7 — шлейф электромагнитного осциллографа

размагничивающие поля. Процесс при этом происходил бы от точки B_0 вверх по спинке петли (рис. 4). Другие полувольты — левые — создавали бы поля одного направления действовавшим ранее полем стирания, т. е. дополнительно намагничивали бы ленту. Однако по условию надежного стирания напряженность поля электромагнита стирания значительно превосходит любое мгновенное значение поля записи. Следовательно, мгновенные значения поля от левой полувольты регистрируемого тока способны лишь временно намагнитить ленту, так как для этих полей лента является сильно «остаренным» магнитом.

Таким образом на ленте оказались бы записанными через интервалы в полувольты лишь правые полувольты регистрируемого тока. Иначе говоря, запись переменного тока на ленте магнитного осциллографа возможна только размагничивающим полем.

Чтобы фиксировать на ленте все мгновенные значения тока регистрируемого тока, надо его превратить из переменного в пульсирующее, что достигается наложением на регистрируемый ток постоянного тока (подмагничивание), так направленного в обмотке электромагнита записи, что поле его действует размагничивающе на ленту.

Наивыгоднейшее значение величины напряженности постоянного подмагничивающего поля показано на рис. 4. Поле напряженностью H_n перемещает начало записи регистрируемого тока в середину прямолинейной части кривой гистерезиса (точка a).

Процесс образования на ленте развертки мгновенных значений остаточного магнетизма можно понять из рис. 4. На вертикали, опущенной из точки a , дано изменение во времени напряженности результирующего поля электромагнита записи; на продолжении же оси H — часть длины ленты, подвергаемой действию электромагнита. Интервалы времени на вертикали и соответствующие им интервалы промежутков на длине записанной ленты обозначены одними и теми же цифрами.

Длина каждого из магнитиков, возникающих в результате продольного намагничивания ленты чередующимися по знаку полувольтами тока регистрируемого тока (рис. 1), определяется протяженностью вдоль ленты развертки каждой из полувольт — $l/2$. При заданных: скорости v (мм/сек) движения ленты под электромагнитом записи и частоте регистри-

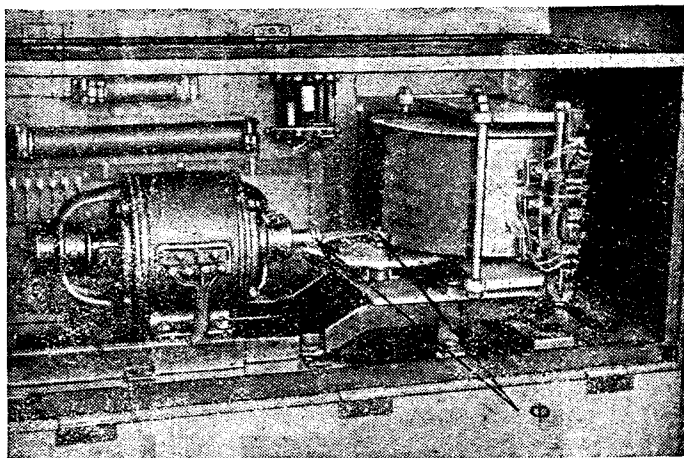


Рис. 6. Внутренний вид магнитного осциллографа (стрелка показывает фрикционный редуктор)

руемого явления длина каждого магнитика

$$l = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f} = \text{const.}$$

Благодаря периодическому изменению потока электромагнита записи магнитики намагничены неоднородно и поэтому на поверхности ленты возникает свободный магнетизм, образующий вокруг нее поля рассеяния (рис. 1). Поток рассеяния в отдельных местах ленты пропорционален скорости изменения в них остаточной намагниченности вдоль ленты. Если поток от остаточной намагниченности в данном месте ленты $\Phi_0 = \Phi_{ол} + \Phi_{омакс} \cos \omega t$, то поток рассеяния Φ_p в этом же месте найдется как производная Φ_0 по длине ленты x :

$$\Phi_p = -a\omega\Phi_{омакс} \sin \omega t. \quad (1)$$

Потоки рассеяния ленты — рабочие потоки; они используются для репродукции записанного на ленте явления. С этой целью вблизи ленты располагается третий неподвижный электромагнит — электромагнит репродукции, цепь катушки которого присоединяется на вход усилителя. Выход же усилителя присоединяется к шлейфу обыкновенного электромагнитного осциллографа (рис. 5).

Репродукция происходит следующим образом.

Лента, записанная регистрируемым током, приводится вновь в движение с постоянной скоростью (электромагниты записи и стирания при этом выключены). Переменное вдоль ленты поле рассеяния, перемещаясь под неподвижным электромагнитом репродукции, наводит в его обмотке э. д. с. Принцип образования этой э. д. с. тот же, что и для обыкновенной электрической машины:

$$l_{pn} = b\omega^2 \Phi_{омакс} \cos \omega t, \quad (2)$$

где b — коэффициент пропорциональности.

Как видно из (2), репродукция магнитной записи синусоидально изменяющихся величин теоретически возможна без искажения формы.

Очевидно также, что высокие частоты при одной и той же амплитуде записи будут давать большую амплитуду при репродукции, чем низкие.

Первый образец шестишлейфового магнитного осциллографа (рис. 6) был изготовлен для Мосэнерго на опытном заводе ВЭИ. Основной его конструктивный узел — барабан с лентами — носителями записи и электромагниты стирания, записи и репродукции.

Испытания магнитного осциллографа ВЭИ в лаборатории и в эксплуатационных условиях подтвердили пригодность магнитной записи для автоматической осциллографии аварийных процессов в энергосистемах.

Испытание на сохранность записи на ленте производилось многократно, через промежутки в 5—10 дней. При этом не было обнаружено никаких изменений в репродукции.

Было установлено, что степень однородности записи и ее репродукции находится в пределах $\pm 10\%$ (колебание амплитуды репродукции вдоль ленты около среднего своего значения).

Механическая и магнитная однородность ленты весьма

высока (возможное отклонение в пределах 1%). Это подтвердили и опыты с осциллографом. На одной и той же ленте производилась многократная запись одного и того же явления. Степень неоднородности репродукции при этом сильно колебалась (от 5 до 10%).

Для достижения однородности записи и репродукции особенно жесткие требования должны быть предъявлены к постоянству скорости вращения барабана и к величине зазоров между сердечниками электромагнитов и лентами.

Установлено, что достижимая степень точности пропорционального воспроизведения явления переменной амплитуды в данном образце осциллографа составляет $\pm 10\%$. Испытания в эксплуатационных условиях показали, что осциллографом могут быть пропорционально воспроизведены с указанной выше степенью точности переходные процессы с отношением их максимальной и минимальной амплитуд, равным 20.

Увеличением степени точности обработки вращающихся частей осциллографа, улучшением свойств привода, тщательной экранировкой усилителя и репродукционного электромагнита можно увеличить степень точности репродукции регистрируемых процессов осциллографом до $\pm 5\%$ и значительно улучшить воспроизведение самой формы этих процессов.

Магнитный осциллограф прост и надежен по своему устройству и эксплуатации. Его стоимость примерно вдвое меньше стоимости автоматического электромагнитного осциллографа. При достигнутой степени точности магнитный осциллограф может вполне быть пригодным для регистрации и расшифровки аварий в энергосистемах.

Работа выполнялась автором под общим руководством проф. С. А. Лебедева. Ценную помощь при испытании осциллографа оказал старший лаборант П. В. Чебышев. Автор в процессе работы получал консультацию от инж. А. С. Зомовского и проф. В. К. Аркадьева.

Литература

1. Хроника, ETZ, 1900, стр. 385.
2. Докт. Reilstab, ETZ, 1901, стр. 57.
3. Инж. West, ETZ, 1901, стр. 181.
4. Инж. West, ETZ, 1901, стр. 246.
5. Хроника, ETZ, 1903, стр. 752.
6. Хроника, ETZ, 1921, стр. 1068.
7. Stille, ETZ, 1930, стр. 449.
8. Ernst Hornann, № 10, 1932.
9. Schuller, ETZ, 1935, стр. 1219.

Нестационарные режимы магнитных насыщенных контуров

В. М. Белобрицкий, А. М. Перевозкин
ХЭТЗ

ОДНИМ из актуальных вопросов электроаппаратостроения является аналитическое исследование нестационарных режимов в магнитных насыщенных контурах. Статья посвящена такому исследованию применительно к распространенному П-образному типу электромагнитных реле.

Рядом исследований было выяснено, что для этого типа реле кривую намагничивания, с достаточной точностью для практических расчетов, можно заменить верхней частью ветви гиперболы (рис. 1):

$$\Phi = \frac{\alpha(a\omega + \beta)}{a\omega + \gamma}. \quad (1)$$

Из рис. 1 можно видеть, что определенные значения коэффициентов α , β и γ точно фиксируют расположение ветви гиперболы в координатных осях.

Значения коэффициентов α , β и γ могут быть легко определены, если известна кривая намагничивания для того сорта

железа, из которого предполагается изготовить реле, а также конфигурация магнитопровода.

С целью физической интерпретации коэффициентов α , β и γ проанализируем три характерные точки на кривой намагничивания реле.

Первая точка — $a\omega = 0$.

В этой точке согласно (1)

$$\Phi = \frac{\alpha\beta}{\gamma} = \Phi_{ост}.$$

Вторая точка $\Phi = 0$, чему соответствует $a\omega + \beta = 0$, откуда

$$\beta = -a\omega_0.$$

В качестве третьей можно взять любую точку кривой намагничивания с координатами $\Phi_1, a\omega_1$.

Координаты этой точки определяют коэффициент γ уравнения (1).

Для более точных расчетов берут несколько таких точек на кривой и за коэффициент γ принимают среднее из полученных значений, определенных по отдельным точкам.

Пользуясь выбранной формулой (1) для функции $\Phi = f(a\omega)$, можно аналитически исследовать нестационарные режимы работы электромагнитов. В качестве примера здесь будет дано исследование работы таймтактора.

Таймтактор. При автоматическом управлении пуском двигателя постоянного тока пуск чаще всего осуществляется определенной функцией времени, при пуске мотора переключение ступеней пускового сопротивления производится определенной, заранее выбранной, выдержкой времени условия получения необходимого графика работы мотора. Аппарат, который производит переключение ступеней с данной выдержкой времени, называется таймтактором.

Таймтактор (рис. 2) объединяет два основных элемента в автоматическом управлении пуском мотора в функции времени — контактор ускорения и реле ускорения.

Магнитная система таймтактора на 80 А в изготовленном заводе ХЭТЗ выполнена по типу РЭ-100, а таймтактор на 300 А по типу РЭ-180. На сердечнике магнитной системы таймтактора расположен демпфер в виде медного полупиллиндра, на котором крепится главная притягивающая и размагничивающая катушки.

Принципиальная схема магнитной и электрической системы таймтактора изображена на рис. 3.

Главная притягивающая катушка питается от сети, а

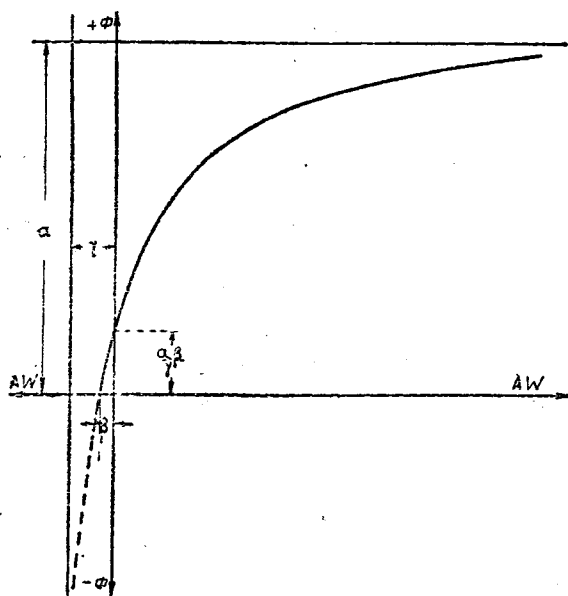


Рис. 1. К определению коэффициентов кривой намагничивания

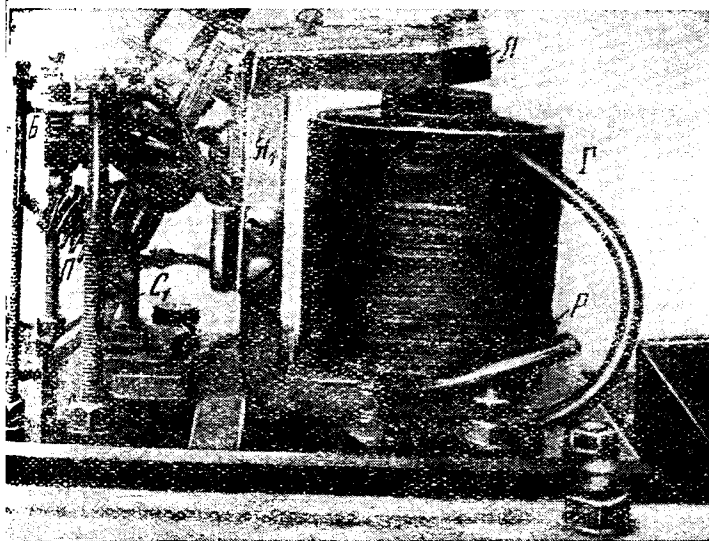


Рис. 2. Конструкция таймтактора завода ХЭТЗ на 300 А:

Я — якорь; Я₁ — ярмо; Г, Р — главная и размагничивающая катушки; С, С₁ — подвижные и неподвижные контакты; Б — блокконтакт; П — главная пружина

главную катушку — от регулируемого потенциометра П.

Принцип работы таймтактора вкратце заключается в следующем. При отключении от сети главной притягивающей катушки магнитный поток благодаря демпферу спадает постепенно, задерживая тем самым отпускание якоря и, следовательно, замыкание главных контактов таймтактора, притягивающих пусковое сопротивление. При изменении индуктивности размагничивающей катушки Р (путем переключения контакта на потенциометре) изменяется крутизна спада магнитного потока и изменяется время, в течение которого магнитный поток от начального значения уменьшается до значения потока отпущения.

Понятно, выдержку времени можно также регулировать, изменяя нажатие главной пружины. Но, как мы увидим дальше, практически требуемой выдержки времени в схемах можно достигнуть подбором соответствующего числа ампервитков. Перейдем к теории работы таймтактора.

При размыкании цепи, притягивающей катушки, запасенная магнитная энергия $\frac{Li^2}{2}$ превращается в энергию электрическую, которая частично проявляется в виде искры на блокконтактах, разрывающих цепь втягивающей катушки, а большая же часть ее превращается постепенно в джоулево тепло в демпфере, в замкнутом контуре размагничивающей катушки и в массивах железа магнитопровода.

Электрическая система таймтактора состоит из двух замкнутых контуров — демпфера (медный цилиндр) и замкнутой катушки размагничивающей катушки. Не внося большой ошибки, можно считать, что коэффициент связи этих двух контуров равен единице.

Положим, что выключение происходит мгновенно, т. е. сопротивление в месте коммутации мгновенно повышается от нуля до бесконечно большой величины. Также исключим из рассмотрения переходный процесс, происходящий в массивах железа магнитопровода.

При этих условиях для общего потока дифференциальные уравнения будут:

$$i_g r_g + w_g \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} = 0, \quad (2)$$

$$i_p r_p + w_p \frac{d\Phi}{dt} 10^{-8} = -U_p, \quad (3)$$

i_g, i_p — ток в демпфере и размагничивающей катушке; w_g, w_p — витки демпфера и размагничивающей катушки; r_g, r_p — их активные сопротивления; Φ — результирующий поток.

Уравнения (2), (3) дают дифференциальное уравнение с переменными:

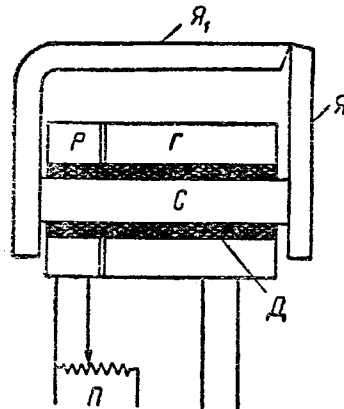


Рис. 3. Принципиальная электрическая и магнитная схема таймтактора:

Я — якорь; Я₁ — ярмо; Г — главная (втягивающая) катушка; С — сердечник; Д — демпфер; П — потенциометр, Р — размагничивающая катушка

$$dt = -T \frac{d\Phi}{aw_g + aw_p + a},$$

в котором

$$a = \frac{U_p w_p}{r_p}; \quad T = T_g + T_p = \left(\frac{w_g^2}{r_g} + \frac{w_p^2}{r_p} \right) 10^{-8}.$$

$aw_g + aw_p$ есть не что иное, как мгновенное значение результирующих ампервитков aw , созданных токами, протекающими в демпфере и контуре размагничивающей катушки при переходном процессе. Поэтому мы можем интеграл этого уравнения написать в виде:

$$t = -T \int \frac{d\Phi}{aw + a} + c. \quad (4)$$

Уравнение (4) можно решить при учете насыщения аналитически, если кривую намагничивания выразить уравнением (1). Последнее уравнение позволяет исключить ампервитки из (4).

Проделав эту операцию и выполняя квадратуру, находим:

$$t = T \left[\left(1 - \frac{\beta'}{\gamma'} \right) \frac{a}{\gamma'} \ln \frac{\Phi_n - \frac{\alpha \beta'}{\gamma'}}{\Phi - \frac{\alpha \beta'}{\gamma'}} - \frac{1}{\gamma'} (\Phi_n - \Phi) \right], \quad (5)$$

где

$$\beta' = \beta - a, \quad \gamma' = \gamma - a.$$

Постоянная интеграция c была определена из условия $t = 0; \Phi = \Phi_n$.

$a = U_p \frac{w_p}{r_p}$ есть ампервитки в размагничивающей катушке (AW_p), созданные в результате приложенного постоянного напряжения U_p , регулируемого потенциометром. Иначе говоря,

$$\gamma' = \gamma - AW_p, \quad \beta' = \beta - AW_p.$$

Если подставить эти коэффициенты в уравнение (1), то

$$\Phi = \frac{a(aw + \beta - AW_p)}{aw + \gamma - AW_p}$$

будет представлять собой кривую намагничивания, смещенную параллельно себе в сторону положительных aw на величину AW_p . Поэтому при наличии установленных постоянных ампервитков в размагничивающей катушке главный поток при результирующих ампервитках, равных $aw = -\beta + AW_p$, будет равен нулю. Поток остаточного магнетизма будет

$$\Phi_{ост} = \frac{a(\beta - aw_p)}{\gamma - AW_p} = \frac{\alpha \beta'}{\gamma'},$$

т. е. с увеличением ампервитков размагничивающей ка-

AW_p будет изменяться по действительной кривой намагничивания, если отношение $\left(\frac{\Phi_{ост}}{\beta}\right)$ останется приблизительно постоянным; т. е.

$$\frac{\Phi_{ост}}{\beta} = \frac{\Phi'_{ост}}{\beta'} = \frac{\Phi''_{ост}}{\beta''} = \dots \text{const},$$

■, подставляя вместо $\Phi_{ост}$ его значение, получим:

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{\alpha}{\gamma'} = \frac{\alpha}{\gamma''}.$$

Полгая в формуле (5) $\gamma' = \gamma$, получаем:

$$t = \left[\left(1 - \frac{\beta - AW_p}{\gamma} \right) \frac{\alpha}{\gamma} \ln \frac{\Phi_n - \frac{\alpha(\beta - AW_p)}{\gamma}}{\Phi - \frac{\alpha(\beta - AW_p)}{\gamma}} - \frac{1}{\gamma} (\Phi_n - \Phi) \right]. \quad (8)$$

На рис. 6 построены кривые выдержки времени для трех значений AW_p для случая, когда поток размагничивающей катушки направлен против потока основной катушки.

Из рисунка видно, что чем больше AW_p , тем круче спадает поток, приближаясь асимптотически к значению остаточного потока, равному $\frac{\alpha(\beta - AW_p)}{\gamma}$.

При $AW_p = \beta$ асимптотой будет ось абсцисс. Если $AW_p > \beta$, правая потока пересекает ось абсцисс.

Если на рис. 6 отложить по оси ординат значение потока отпускания $\Phi_{отп}$, при котором происходит отрывание якоря под действием натяжения пружины Q , то можно видеть, что ампервитки позволяют регулировать выдержки времени в широких пределах, оставляя поток отпускания неизменным (постоянное натяжение пружины). Можно устанавливать такие малые значения пружины, не боясь прилипания якоря, при условии:

$$\Phi_{отп} > \frac{\alpha(\beta - AW_p)}{\gamma}.$$

Однако из кривых и уравнения (8) легко заметить, что для получения очень малых выдержек времени требуется очень большое число ампервитков, что усложняет схему питания и регулирования ампервитков. Для этого целесообразнее уменьшить коэффициент α , что значительно понизит выдержку времени. Коэффициент α представляет собой асимптоту верхней части ветви гиперболы и численно, приблизительно, равен максимальному потоку по кривой

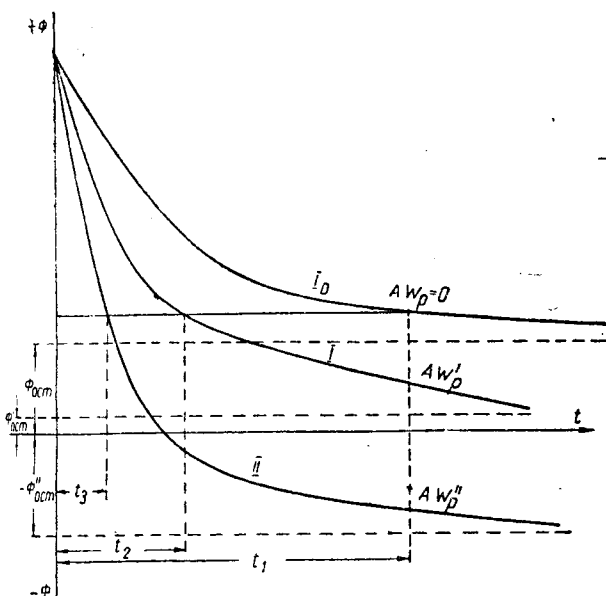


Рис. 6. Кривые выдержки времени при различных значениях AW_p

намагничивания. Поэтому очевидно, что снижение его значения возможно за счет увеличения магнитного сопротивления, путем, например, установки медной прокладки между сердечником и якорем.

Ампервитки размагничивающей и главной катушки включены согласно. В этом случае кривая потока (рис. 7) смещается в сторону отрицательных aw (кривая L).

Уравнение кривой намагничивания будет:

$$\Phi = \frac{\alpha(aw + AW_p + \beta)}{aw + AW_p + \gamma}, \quad (9)$$

а коэффициенты:

$$\begin{aligned} \beta' &= \beta + AW_p, \\ \gamma' &= \gamma + AW_p. \end{aligned}$$

Возвращаясь к уравнению (5), легко видеть, что при этих условиях оно представляет непрерывную функцию на всем диапазоне изменения AW_p , так как γ' изменяется таким образом, что кривая потока всегда отсекает на оси ординат отрезок, равный $\Phi_{ост} = \frac{\alpha\beta'}{\gamma'}$, соответствующий действительной кривой намагничивания.

Положим, что поток $\Phi_{отп}$ больше остаточного потока, равного $\Phi_{ост}$. Кривая I рис. 7 изображает для этого случая спадание главного потока при условии отсутствия тока в размагничивающей катушке. Очевидно, максимальная выдержка времени будет абсцисса t_I .

Устанавливая в размагничивающей катушке ампервитки AW_p так, что $\Phi'_{ост} < \Phi_{отп}$, будем иметь при размыкании цепи притягивающей катушки спадание главного потока по кривой II, приближающейся асимптотически к потоку, создаваемому согласными ампервитками размагничивающей катушки. Теперь выдержка времени изобразится абсциссой t_{II} .

При ампервитках размагничивающей катушки, создающих поток $\Phi'_{ост}$, превосходящий $\Phi_{отп}$, якорь останется притянутым и таймтактор не сработает. Поэтому на потенциометре таймтактора необходимо точно фиксировать крайнее положение движка, при котором максимальные согласные ампервитки создавали бы поток $\Phi_{ост}$, меньший $\Phi_{отп}$.

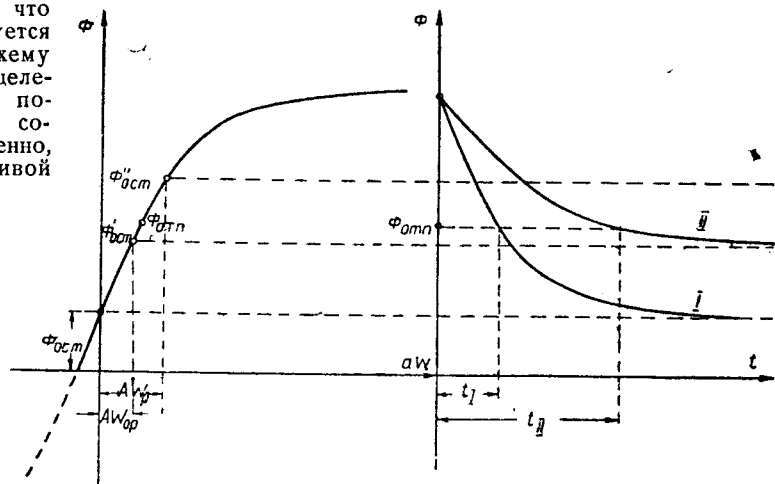


Рис. 7

Прилипание якоря будет исключено, если в формуле (6) знаменатель дроби, стоящей под знаком логарифма, останется всегда положительным. Для этого необходимо, чтобы

$$AW_p < \frac{\Phi_{отп}\gamma - \alpha\beta}{\alpha - \Phi_{отп}}.$$

Экспериментальная проверка. Опытное определение выдержек времени было произведено для таймтактора 300 А, имеющего магнитную систему по типу реле РЭ-180. Ниже помещаем аналитический расчет выдержек времени для

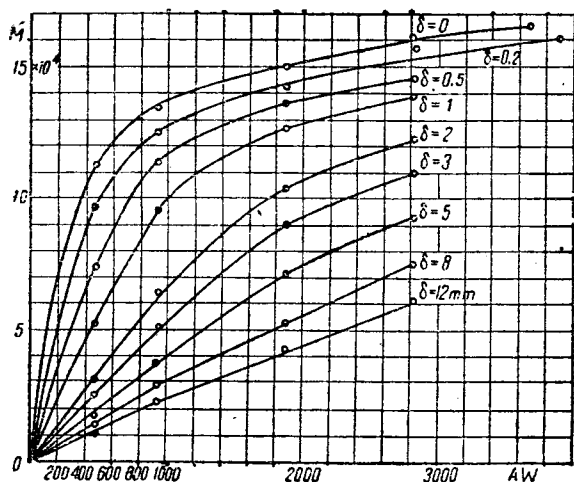


Рис. 8

таймтактора этого типа и даем сравнение экспериментальных данных с расчетными.

Кривая намагничивания таймтактора 300 А при замкнутом якоре ($\delta = 0$) дана на рис. 8. Необходимые нажатия главной пружины приведены в табл. 1. Коэффициенты кривой намагничивания α , β , γ определены из условий: $\alpha W = 0$, $\Phi = \Phi_{ост} = 50\,000$ М.

В точке, лежащей на колене кривой намагничивания, $\alpha W = 600$ соответствует $\Phi = 13,0 \cdot 10^4$. Подсчеты дали:

$$\alpha = 155 \cdot 10^8; \beta = 60; \gamma = 186.$$

Поток, при котором происходит отрывание якоря от сердечника под действием натяжения пружины Q

$$\Phi_{отн} = \sqrt{s \cdot 8\pi \cdot 981\,000 P},$$

где s — сечение сердечника, P — сила, действующая по оси сердечника.

В свою очередь

$$P = \frac{Ql}{L},$$

где L и l — плечи силы P и натяжения Q .

Для таймтактора 300 А

$$s = 9,6 \text{ см}^2; l = 2,25 \text{ см}; L = 5,9 \text{ см}.$$

Подсчитанные значения потоков отпущания сведены в табл. 1.

Таблица 1

Q кг	$\Phi_{отн}$ М · 10 ⁴
7	2,52
10	3,02
14	3,56
22	4,50

Размеры демпфера: длина $L = 76$ мм, внутренний диаметр $d = 35$, внешний $d_1 = 53$ мм. Длина витка

$$l = \pi \cdot \frac{(d_1 + d)}{2} = 3,14 \cdot \frac{0,053 + 0,035}{2} = 0,137 \text{ м}.$$

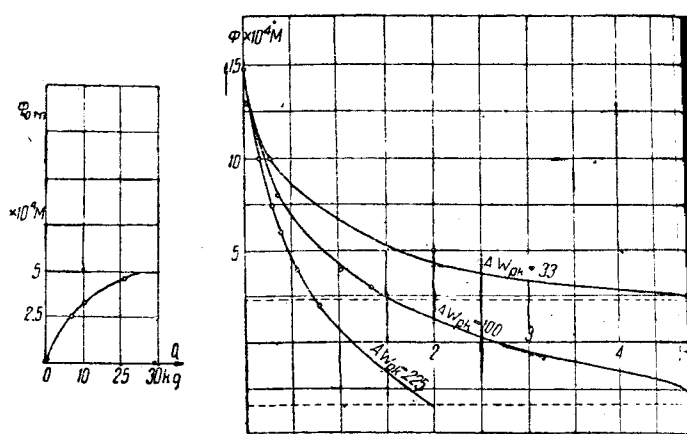


Рис. 9

Сечение витка

$$s = L \frac{(d_1 - d)}{2} = 76 \cdot \frac{53 - 35}{2} = 684 \text{ мм}^2.$$

Сопротивление витка $R_g = 350 \cdot 10^{-8} \Omega$. Постоянная времени

$$T_g = \frac{1}{350} \text{ сек}.$$

Определение выдержки времени производилось по графику

$$t = A' \ln \frac{\Phi_H - \Phi_{ост}}{\Phi - \Phi_{ост}} - B' [\Phi_H - \Phi],$$

где

$$A' = T_g \left[1 - \left(\frac{\beta - AW_p}{\gamma} \right) \right] \frac{\alpha}{\gamma};$$

$$B' = T_g \cdot \frac{1}{\gamma};$$

$$\Phi_{ост} = \frac{\alpha}{\gamma} (\beta - AW_p).$$

Для трех значений ампервитков размагничивающей катушки AW_p : 33, 100 и 225.

Результаты подсчетов представлены кривыми рис. 9. Экспериментальная проверка расчета дала результаты приведенные на табл. 2.

Таблица 2

$\Phi_{отн}$ М · 10 ⁴	$AW_p = 33$		$AW_p = 100$		$AW_p = 225$	
	t		t		t	
	(расчет) сек	(эксперимент) сек	(расчет) сек	(эксперимент) сек	(расчет) сек	(эксперимент) сек
2,52	5,20	5,23	1,53	1,57	0,75	0,78
3,02	3,60	3,66	1,35	1,39	0,68	0,72
3,56	2,68	2,7	1,15	1,18	0,60	0,63
4,5	1,95	2,0	0,98	1,08	0,52	0,55

Как видно из таблицы, расхождения между подсчетными и опытными выдержками времени лежат в пределах $5 \div 10\%$.

Анодное падение и температура анода металлического ртутного выпрямителя

В. И. Дроздов

Завод „Электросила“ им. Кирова

ТЕМПЕРАТУРЫ различных частей анода могут быть найдены опытным путем или расчетно¹. В статье дано определение анодного падения основной величины, характеризующей работу анода, по измеренным значениям температуры.

При определении температуры нагрева анодной головки и других частей анода исходят из потерь на аноде. Величины потерь обычно задаются. Эти потери на аноде можно представить как произведение средней величины анодного тока и анодного падения. Будем интерпретировать здесь анодное падение, как количество тепла, приобретенное анодом, деленное на средний анодный ток:

$$U_a = \frac{Q}{0,24 I_a \text{ мед}}.$$

В литературе часто анодным падением называют разность потенциалов пространства вблизи анода и анода. Анодное падение, определенное приведенным выше соотношением, можно в отличие от встречающегося в литературе термина назвать величиной, эквивалентной потере энергии у анода.

Энергия, выделяемая при поглощении электрона анодом²,

$$w = e(\varphi + U),$$

где e — заряд электрона;

φ — работа выхода электрона из металла;

U — средняя энергия электронов в эквивалентных вольтах³.

Энергия эта почти целиком превращается в тепло, идущее на нагрев анода.

Если в t сек на анод приходит n электронов, то за это время выделяется общее количество тепла

$$Q = 0,24 \frac{ne}{t} (\varphi + U),$$

где $\frac{ne}{t}$ представляет собою не что иное, как средний ток

$I_a \text{ мед}$. Следовательно, при нашей интерпретации анодное падение тождественно с величиной $\varphi + U$, т. е.

$$U_a = \varphi + U.$$

Величина U_a может быть легко определена из опытов измерения температуры анодной головки.

При установившейся температуре головки, как показывают многочисленные измерения и подсчеты, около 90% тепла, доставляемого головке током, отводится посредством излучения. Некоторая часть тепла отводится анодным стержнем вверх, незначительная доля — путем теплопередачи через газ и уносится частицами при распылении материала головки.

Для простоты выкладок будем считать, что тепло рассеивается только излучением. По закону Стефана ежесекундная потеря тепла телом равна $\sigma S(T^4 - T_{\text{окр}}^4)$, где S — излучающая поверхность, σ — коэффициент излучения, T — температура (°K) анодной головки, $T_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды. В данном случае за температуру окружающей среды можно принять температуру находящейся вблизи анода манжеты. В описываемых ниже опытах температура манжеты не измерялась. По более ранним опытам эта температура составляет, примерно, 50—60% температуры головки в °C. Но были проведены опыты по сравнению температур анодной головки при наличии и при отсутствии манжет, разница между обоими случаями равна всего 10%.

Исходя из этого, можно для упрощения пренебречь вычитаемым $T_{\text{окр}}^4$, так как оно мало по сравнению с T^4 , и погрешность в формуле Стефана не превысит 10—15%. Это

не снижает ценности предлагаемого способа, так как в случае необходимости всегда возможно учесть $T_{\text{окр}}$ дополнительной термпарой.

Итак, количество тепла, теряемое в каждую секунду,

$$Q = 0,24 \cdot I_a \text{ мед} U_a = \sigma S T^4.$$

Откуда

$$U_a = \frac{\sigma S T^4}{0,24 \cdot I_a \text{ мед}}.$$

В последнем выражении неизвестен только коэффициент σ . Его можно определить из кривой охлаждения анодной головки.

Пусть M — масса головки, c — теплоемкость ее материала, k — коэффициент теплопроводности стержня головки, s — его поперечное сечение, l — длина и T_n — температура анодного ввода.

В процессе охлаждения часть тепла излучается, а часть его передается теплопроводностью стержня. Поэтому

$$-cM \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{\sigma S T^4 - \frac{ks}{l} T - \frac{ks}{l} T_n} = \int_{t_1}^{t_2} dt.$$

С достаточной степенью точности можно считать, что температура ввода T_n не меняется при изменении T .

Вычисление полученного интеграла весьма громоздко. Задачу можно проще решить графически.

Из фактической кривой охлаждения находят изменение температуры ΔT за равные отрезки времени, т. е. отыскивают $\Delta T = f(t)$, считая ΔT от некоторой температуры T_0 , принятой за исходную. Умножая полученные ΔT на cM , получают $cM \Delta T = \Delta Q = f(t)$ — изменение количества тепла, которым обладает головка, за время t при потере тепла всеми способами теплоотдачи ($cM \Delta T = \Delta Q$). Затем строят таблицу или кривую для тепла, отведенного через стержень, при различных T в зависимости от времени t : $\Delta Q_1 = f(t)$. Очевидно, разность

$$\Delta Q - \Delta Q_1 = \Delta Q' = f(t)$$

дает то количество тепла, которое отдано головкой за время t только путем излучения.

Деление $\Delta Q'$ на cM , $\left[\frac{\Delta Q'}{cM} = \Delta T' = f(t) \right]$ определяет $\Delta T'$ — изменение температуры головки, которое происходило бы, если бы тепло отводилось только через излучение. Прибавляя к T_0 найденные $\Delta T'$, соответствующие ранее выбранным отрезкам времени t , получают окончательно $T' = f(t)$, т. е. кривую охлаждения анодной головки, при условии потери тепла только излучением.

Если теперь исходить из этой новой кривой охлаждения, решение нашей задачи упростится; в знаменателе подинтегрального выражения останется лишь член $\sigma S T^4$.

Интегрирование дает:

$$\sigma = \frac{cM}{3 \cdot S} \frac{1}{t_2 - t_1} \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right).$$

Подставляя значение σ в выражение для U_a , получим:

$$U_a = \frac{cM}{0,72(t_2 - t_1)} \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right) \frac{T^4}{I_a \text{ мед}}.$$

Здесь M — масса в г;

c — удельная теплоемкость в cal °C/g;

t_2 , t_1 и T , T_1 — моменты времени и соответствующие им температуры головки из кривой охлаждения в °K.

Окончательно

$$U_a = C \frac{T^4}{I_a \text{ мед}},$$

где $C = \frac{cM}{0,72(t_2 - t_1)} \left(\frac{1}{T_2^3} - \frac{1}{T_1^3} \right)$ — постоянная величина для данной конструкции анода.

¹ Бюллетень ВЭИ № 5, 1935.

² И. Лангмюир, УФН 2, 1931.

³ В величину U не входит энергия, приобретаемая электроном вблизи анода, так как эта энергия включена в φ .

Опыт. Исследования производились на нескольких типах анодов в корпусе выпрямителя РВ-10, в головке которых были заложены термопары. Термопары были заложены также и во все основные части ввода: две точки радиатора, фланец ввода, верхняя и нижняя резина, фарфоровый изолятор и фланец анода.

В статье приведены опытные данные для двух типов анодов, изображенных на рис. 1. Один из них *a*, неуправляемый, с головкой нормального диаметра и одной манжетой, а другой *б* с управляющей сеткой, уменьшенной головкой и двумя манжетами.

Были сняты кривые нагрева анодных головок. Причем нагрузка устанавливалась в момент включения выпрямителя и поддерживалась затем постоянной. Снимались кривые охлаждения головок при работающем и отключенном ртутном насосе. Измерялись также установившиеся значения всех температур анода при различных нагрузках и одной и той же температуре корпуса, а также при различных температурах корпуса и двух постоянных нагрузках 500 и 1000 А.

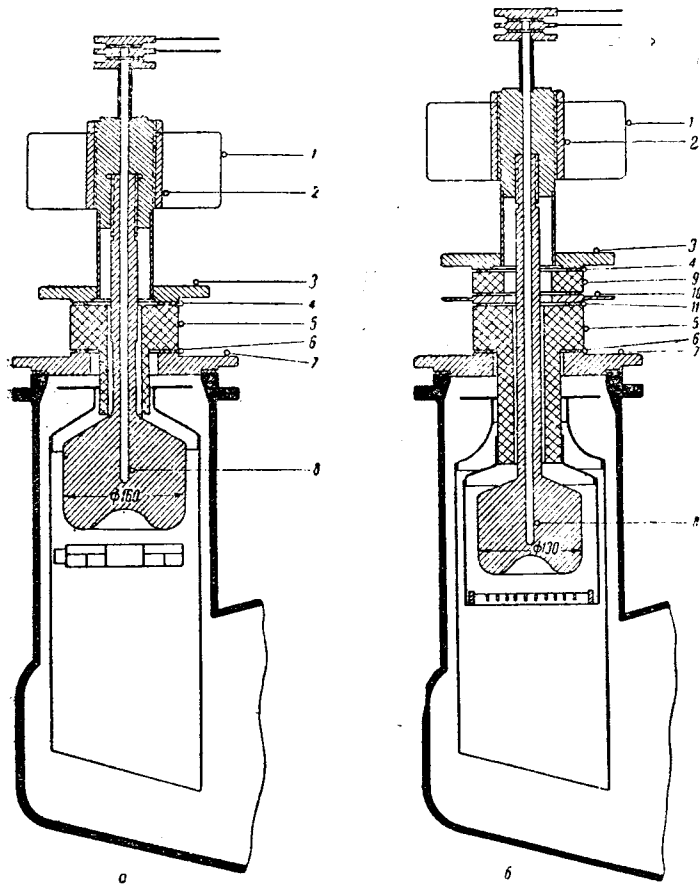


Рис. 1. Разрезы двух типов анодов с заложенными термопарами (цифры указывают номера термопар)

Результаты измерений. Кривые нагрева анодных головок при $I_g = 1000$ А представлены на рис. 2. Большая скорость нарастания и большее установившееся значение температуры, кривая 2, для анода *б* (рис. 1), объясняются меньшей массой головки, меньшей поверхностью и наличием двух манжет. Кривые охлаждения приведены на рис. 3 соответственно для тех же двух анодов; пунктирные кривые — охлаждение при неработающем ртутном насосе, т. е. при худшем вакууме.

На рис. 4 изображены установившиеся температуры анодных головок в зависимости от нагрузки при температуре корпуса $t_k = 50^\circ$.

Кривая 1 соответствует аноду *a*, а кривая 2 — аноду *б* (рис. 1). Следует отметить, что так как температура головки пропорциональна корню четвертой степени из теплоты, подводимой к аноду, то, как видно из рис. 4, при снижении нагрузки вдвое температура головки уменьшается всего на 20%.

На установившуюся температуру головок довольно резко сказывается температура корпуса, что объясняется увеличе-

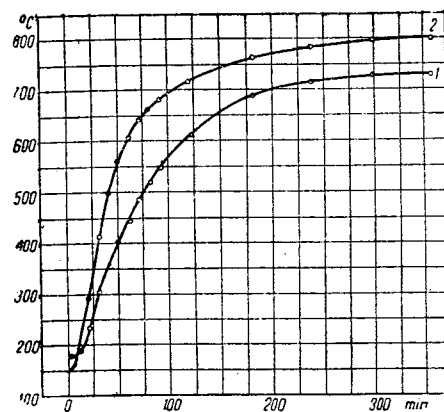


Рис. 2. Нагрев анодных головок при $I_g = 1000$ А

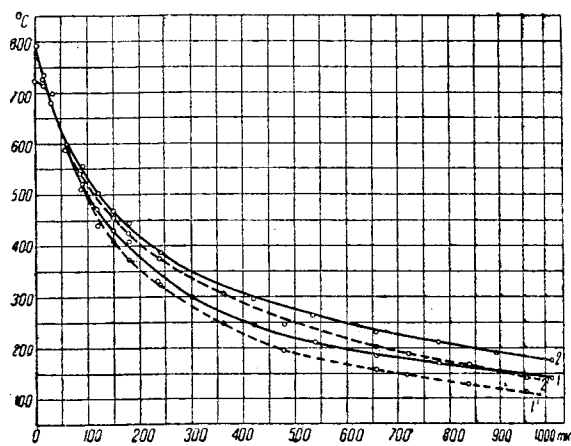


Рис. 3. Охлаждения анодных головок

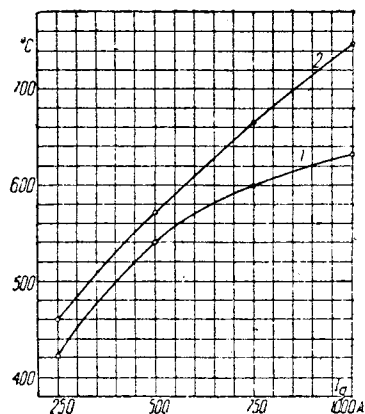


Рис. 4. Установившиеся температуры анодных головок в зависимости от нагрузки при $t_k = 50^\circ$

нием анодного падения при низких температурах корпуса. На рис. 5 приведены кривые для нагрузки 1000 А (кривые 1 — анод *a*, 2 — анод *б*, рис. 1).

В табл. 1 даны температуры всех наружных частей анода по показаниям термопар в зависимости от нагрузки при $t_k = 50^\circ$.

В табл. 2 то же, но в зависимости от температуры корпуса при $I_g = 1000$ А.

Как видно из таблиц, при постоянной температуре корпуса температуры внешних частей анода незначительно возрастают с увеличением нагрузки, так как одновременно с этим увеличивается нагрев анодной головки.

Влияние температуры корпуса сказывается по-разному на различные части анода. С увеличением температуры корпуса, следовательно, уменьшением температуры головок тем-

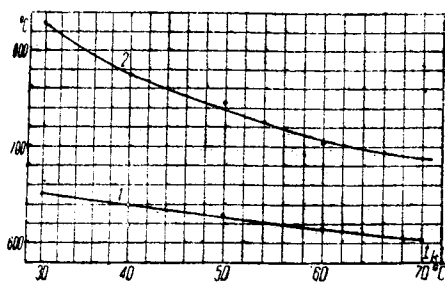


Рис. 5. Установившиеся температуры анодных головок в зависимости от температуры корпуса при $I_g = 1000$ А

Таблица 1

Установившиеся температуры наружных частей анодов (°C) при $t_k = 50^\circ$

Номера термопар	Анод а, рис. 1							Анод б, рис. 1										
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	
I_g А																		
250	36	37	38	40	44	54	53	27	28	30	31	44	43	46	33	35	35	
500	42	44	44	51	55	63	62	29	30	32	34	50	53	53	36	37	37	
750	43	45	46	60	66	70	67	36	38	40	41	58	64	62	43	46	47	
1000	45	47	48	63	69	73	70	39	40	42	44	63	66	64	46	49	50	

Таблица 2

Установившиеся температуры наружных частей анодов (°C) при $I_g = 1000$ А

Номера термопар	Анод а, рис. 1							Анод б, рис. 1										
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	
t_k °C																		
30	59	62	61	66	76	70	65	46	49	46	46	74	64	58	51	59	61	
40	52	54	54	64	72	71	68	44	46	44	44	70	64	62	49	55	57	
50	45	47	48	63	69	73	70	39	40	42	44	63	66	64	46	49	50	
60	45	46	47	63	71	75	73	39	41	42	44	66	71	69	50	50	51	
70	44	45	46	64	73	76	76	40	42	43	45	68	76	75	52	52	52	

температуры анодного ввода падают (точки 1, 2, 3), потому что по стержню отводится меньше тепла.

Температура средних частей (точки 4, 5) зависит, с одной стороны, от количества тепла, идущего от головки, и, с другой, от температуры верхнего слоя воды в рубашке корпуса (поколе), где установлен термометр (температура, близкая

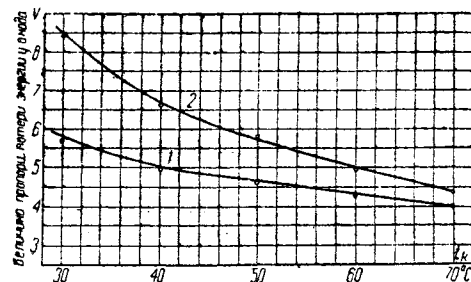


Рис. 6. Величина, пропорциональная потере энергии у анода, в зависимости от температуры корпуса при $I_g = 1000$ А

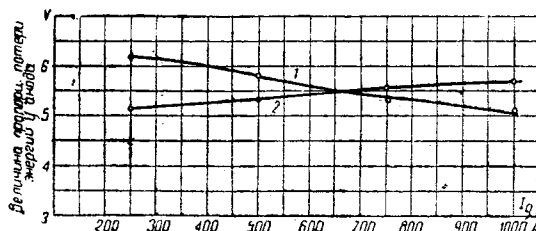


Рис. 7. Величина, пропорциональная потере энергии у анода в зависимости от нагрузки при $t_k = 50^\circ$

к температуре вытекающей воды). Эти два фактора действуют прямо противоположно, и температуры указанных частей (4, 5 и 9, 10, 11) изменяются в зависимости от того, какой из них преобладает, что всецело определяется конструкцией анода. В нашем случае вначале с увеличением t_k до 50° температуры имеют тенденцию падать, потом, при больших температурах корпуса, они снова несколько возрастают. В результате зависимость от температуры корпуса получается незначительной.

Температуры нижних частей (точки 6, 7), как видно из таблицы, зависят исключительно от температуры вытекающей воды, поэтому с увеличением t_k они все возрастают.

Пользуясь способом, изложенным выше, были подсчитаны коэффициенты C . Для анода а C оказалось равным $1,10 \cdot 10^{-9}$, для анода б (рис. 1) $C = 0,85 \cdot 10^{-9}$. Знание коэффициента C позволило определить анодное падение для разных температурных режимов анода при различных условиях опытов.

Эквивалентные потери энергии у анода в зависимости от температуры корпуса для обоих рассматриваемых анодов представлены на рис. 6. Характер кривых подтверждает положение, что $U_a = \varphi + U$. При высоких температурах корпуса и большой упругости ртутного пара в выпрямителе температура электронов низка и соответственно энергия и в эквивалентных вольтах незначительна — кривые асимптотически приближаются к значению $U_a = \varphi$.

Эквивалентные потери энергии у анода мало зависят от нагрузки. Для анода а потери с нагрузкой уменьшаются (рис. 7). Это объясняется, вероятно, большей упругостью пара в районе анода (манжете) при больших нагрузках.

Еще о заземлении нейтрали электросетей 380/220 V

По поводу статьи Л. П. Подольского „Заземление нейтрали электросетей 380/220 V“ („Электричество“ № 13, 1937)

1. В своей работе «Проблема заземления электроустановок 380/220 V» Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда ставил себе задачей экспериментально проверить, действительно ли целесообразно в интересах безопасности заземлять нуль в системах 380/220 V.

В качестве объектов эксперимента были выбраны из числа присоединенных в сеть Мосэнерго предприятия, наиболее специфические в производственном отношении, наиболее соразмерные по мощности своих установок и обладающие возможно большей кабельной сетью (12—14 km). Надлежащим выбором предприятий фактически было обеспечено наличие указанных т. Подольским факторов: протяженности, состояния изоляции, воздействия производственных условий, электрооборудования.

По техническим причинам институт не мог дать анализа влияния указанных факторов, хотя и располагал некоторым материалом в этом отношении. Кроме того, в этом анализе не было необходимости, так как неблагоприятствующие факторы, например, несоответствие проводки или оборудования, заведомо ухудшая условия для изолированных систем, создавали известный резерв для беспристрастного решения поставленного вопроса¹.

2. Полученные непосредственно из множества проведенных измерений в условиях разнообразных производств результаты указывают на бесспорное преимущество изолированных систем при сопротивлении пути тока 1000—4000 Ω .

Вывод т. Подольского, что при сопротивлении 6000 и 10 000 Ω преимущества в смысле безопасности на стороне заземленной системы, является верным лишь формально. При выводе необходимо было учесть то существенное обстоятельство, что наличие длительных замыканий на землю по существу сводило изолированную систему выбранных предприятий к заземленной, в которой вместо нулевой точки был заземлен фазовый провод. Ясно, что подобное состояние установки представляет наибольшую опасность, так как человек в этом случае оказывается включенным под полное рабочее напряжение, в то время как в системе с заземленным нулем он включен лишь под фазовое напряжение. Длительные замыкания, вызванные рядом устранимых причин, обуславливают в свою очередь то число тяжелых (от 9,1 до 17,8%) и средних несчастных случаев (от 3,6 до 17,2%), которое без учета указанного чрезвычайно важного момента чисто формально создает преимущество заземленной системы для сопротивления 6000—10 000 Ω .

Далее по мнению т. Подольского знание сопротивления человеческого тела в условиях эксплуатации на данном предприятии позволяло бы обоснованно решить вопрос в пользу изолированной или заземленной нейтрали в зависимости от величины полученного сопротивления. При этом т. Подольский указывает, что «Определение этих сопротивлений должно явиться вторым этапом данной работы».

Конечно, в свете полученных результатов проведенных измерений было бы практически чрезвычайно важно и научно весьма интересно знать сопротивления человеческого тела для определенных условий, но известно, что сопротивление человеческого тела, не являясь стабильным даже для одного индивидуума и завися от многих факторов, весьма своеобразно связано с величиной приложенного напряжения, с увеличением которого оно сильно падает. Поэтому всякое исследование при пониженном (безопасном) напряжении не даст истинного значения

сопротивления тела испытуемого, а исследование в нормальном эксплуатационном напряжении как живое опасное практически неосуществимо.

3. Говоря о возможности повышения напряжения фазового провода до величины 340 V, имелось в виду подчеркнуть, что системы 380 V с заземленным нулем в некоторых условиях могут не отвечать условному определению низковольтных установок.

4. При помощи математического анализа можно установить большую или меньшую безопасность изолированных систем, конечно, для условно заданного удовлетворительного состояния изоляции.

В статье «Анализ условий безопасности в трехфазных сетях низкого напряжения с заземленным и изолированным нулем» («Электричество» № 4, 1927) т. Подольский показал, что заземленная система оказывается менее опасной, чем изолированная при больших значениях сопротивления, т. е. когда прикосновение фактически не опасно.

5. Дискуссия о целесообразности напряжения 380/220 велась, главным образом, на базе экономических соображений. Достаточно вспомнить полемику по вопросу о выгоднейшем напряжении в электросетях низкого напряжения для городских поселков.

Вопросы безопасности установок 380/220 V рассматриваются только в том разрезе, что безопасность их должна быть обеспечена тщательным техническим выполнением и квалифицированной эксплуатацией.

Да и трудно поверить в целесообразность заземления нуля в установках 380/220 V с целью обеспечить большую безопасность их, если само напряжение 220 V является, безусловно, опасным для жизни, а при заземленном нуле 380/220 V однофазное включение человека неизбежно ставит его под напряжение 220 V со всеми вытекающими отсюда последствиями.

6. Наше предложение о введении единого типового напряжения 500 V является практическим следствием проведенной работы, показавшей, что системы с заземленным нулем в действительности не имеют тех преимуществ по сравнению с системами с изолированным нулем, которые обычно им приписывают защитники заземления.

Как уже было отмечено в работе института, при учете тщательного и технического грамотного выполнения установки и культурной эксплуатации ее может быть обеспечена большая безопасность, чем это существует в называемых установках низкого напряжения.

Если даже придерживаться условной группировки несчастных случаев, принятой т. Подольским для осветительных и силовых установок, то получим аналогичные годам:

а) Несчастные случаи в осветительных сетях: 1925 г. 1926 г. 1927 г. 1928 г.

Штепселя, выключатели, лампы постоянного тока	8,0	19,1	12,7	12,1
Ручные переносные приборы	11,8	4,6	6,6	7,9
	19,8	23,7	19,3	19,9

б) Несчастные случаи в силовых сетях:

Рубильники	19,7	23,8	23,6	17,6
Плавкие предохранители	14,9	14,5	11,4	12,1
Изолированные провода	13,2	13,6	13,2	10,1
Машины и аппараты	10,5	6,4	15,6	16,2
Распределительные устройства	9,8	5,0	7,2	11,7
Прочие	6,4	4,9	3,6	6,2
	74,5	68,2	74,6	74,9

Иначе говоря, мы имеем по этим годам почти стабильное соотношение между количеством несчастных случаев в установках осветительных и силовых; из приведенных цифр никак не следует, что число несчастных случаев

¹ Как пример—кажущаяся непонятной весьма продолжительная «длительность замыкания на землю» на заводе „Калибр“ обуславливается тем, что эмульсия, попадая на изоляцию электрической части станка при недостаточно рациональном размещении подводки и электрооборудования станка, быстро ее разрушает и вызывает замыкание на землю.

растает в силовых установках за счет введения напряжения 380—500 V.

Из данных по травматизму за 1931—1933 гг. следует, что процент смертельных случаев при напряжении 500 V от общего числа их был равен:

1931 г.	1932 г.	1933 г.	(только по РСФСР)
4,4%	4,2%	2,6%	

В заключение отмечаем, что, не претендуя на совер-

шенство в своей работе, институт пытался лишь в пределах имевшихся у него возможностей подойти к решению того вопроса, который в течение многих лет является предметом дискуссии.

Пожелание т. Подольского о дальнейшем развитии работы хотя бы в отношении установок 500 V по мнению института является целесообразным.

В. И. Королькова
Москва

О письме инж. В. И. Корольковой

По поводу статьи инж. Л. П. Подольского „Заземление нейтрали для электросетей 380/220 V“

Инж. В. И. Королькова в своем письме восполняет тот пробел, который имел место в ее статье, опубликованной в журнале «Электричество» № 2, 1937 г.

И, действительно, при этих дополнениях работа Института охраны труда получает несколько иную окраску и производит иное впечатление, чем то имело место в первой статье.

Так например, в данном случае автор дает указание и о длине кабельной сети, и о состоянии изоляции, и о характере производства, каковые были учтены при постановке экспериментов.

Правда, и тут автор достаточно поспешил более подробно остановиться на этих моментах, но все же у читателя создается вполне ясное представление как о характере установки, так и об условиях ее эксплуатации.

Не могу не согласиться с автором, что сопротивление человеческого тела не является стабильным и зависит не только от производственных условий, но и от целого ряда других факторов, как-то: и от длительности воздействия тока, и от величины приложенного напряжения, и что постановке экспериментов по определению сопротивления человеческого тела должна предшествовать весьма серьезная разработка методики постановки экспериментов. Весьма ценной является и таблица несчастных случаев, приведенная в заметке, как дающая анализ самих несчастных случаев, а также опровергающая утверждение т. Подольского о ежегодном возрастании несчастных случаев в системах 380 и 500 V.

С. А. Бургучев
Москва

БИБЛИОГРАФИЯ

В. А. ПРИВЕЗЕНЦЕВ и Б. М. ТАРЕЕВ. ПРОИЗВОДСТВО СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ И ДИНАМОМАШИНОЙ ПРОВОЛОКИ. ОНТИ, Главн. ред. лит-ры по цветной металлургии, М.—Л. 1937, тир. 1500, цена 4 р. 50 к., перепл. 1 р. 50 к.

В связи с намеченным строительством новых кабельных заводов, проведением реконструкции и расширением существующих заводов потребуется подготовить значительные кадры инженеров и техников-кабельщиков.

Овладение новой техникой, развитие стахановских методов, повышение качества выпускаемых изделий предъявляют повышенные требования к уровню технических знаний техперсонала кабельных заводов, и поэтому необходимы организация систематической техучебы и повышение квалификации ИТР кабельных заводов.

До последнего времени вопросам постановки технического обучения инженеров и техников-кабельщиков не уделялось достаточного внимания, о чем свидетельствует хотя бы отсутствие технически грамотного пособия по изучению кабельного дела, предназначенного для мастеров и техников.

Рецензируемая книга восполняет этот пробел, давая комплекс сведений, необходимых мастеру-кабельщику для повышения уровня его технических знаний. Просто и понятно излагаются сведения по теории кабеля, свойства применяемых в кабельном деле материалов, описываются основные типы оборудования кабельных заводов, современные конструкции силовых кабелей, методы измерений и испытаний кабельной продукции, основные сведения из соответствующих ОСТ, в общем излагаются все необходимые сведения, относящиеся к производству силовых кабелей и динамомашинной проволоки.

В книге затронуты также и вопросы организации производства кабельных заводов.

Книга эта нужная, но все же в ней есть некоторые неточности и недочеты, которые надо устранить.

Прежде всего следовало бы уточнить определение кабеля и его отличие от провода. В начале I главы написа-

но: «Электрическим кабелем называется проводник, состоящий из одной сплошной или нескольких скрученных вместе и изолированных одна от другой металлических токопроводящих жил». В этом определении, недостаточно четко и точно, ни слова не сказано об отличительной особенности кабеля — наличии защитных оболочек.

Не вполне удачно изложена глава «Диэлектрические потери». На стр. 25 написано: «На векторной диаграмме» и т. д., а векторной диаграммы-то не приведено, да и не пояснено, что это такое.

Может ввести в заблуждение также и утверждение на стр. 27, что «одной из главных причин понижения диэлектрической крепости с течением времени является нагрев изоляции под влиянием диэлектрических потерь». Как известно, для целого ряда изолирующих материалов, имеющих весьма малый угол потерь, электрическая прочность все же сильно снижается с увеличением толщины материала или числа слоев.

Также неудачна и изображенная на рис. 10 кривая ионизационных потерь. В действительности все современные высоковольтные кабели не имеют точки ионизации, а лишь незначительное плавное увеличение $\tan \delta$.

Досадно, что одной из наиболее важных характеристик, каковой является зависимость $\tan \delta$ от температуры, уделено только 4 строчки (стр. 30), а ведь для понимания процессов, происходящих в изолирующем слое высоковольтного кабеля, знание именно этой зависимости является совершенно необходимым.

В главе «Эмалированная медная проволока» допущен анахронизм, а именно: упоминающаяся в ней марка эмалированной проволоки ПЭ уже более двух лет назад запрещена к выпуску Главным управлением цветметобработки промышленности, а потому все приведенные

в книге характеристики этой марки не нужны. Ничего не сказано о выборе и обработке медной проволоки, предназначенной для эмалирования, а это вопрос весьма существенный.

В разделе «Производство силовых кабелей» с достаточной полнотой описаны все процессы как основные, так и существеннейшие из вспомогательных. Но один из самых важных процессов в кабельной технике — процесс сушки и пропитки — следовало бы описать подробнее, разъяснив сущность наивыгоднейшего режима и разобрав

способы регулировки вакуума в процессе сушки. На прочим совершенно неправильно забракован оборот куум-аппаратов маслом вместо пара. Этот способ чрезвычайно экономичный и с технической точки зрения ставляет много преимуществ над паровым. Все эти замечания нисколько не умаляют ценности рецензируемой ги. Надо только, чтобы эта работа была не единичной, а явилась бы началом серии серьезных пособий изучению кабельного дела у нас в Союзе.

С. М. Бран

РУКОВОДСТВО К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ В ЛАБОРАТОРИИ ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Авторы И. И. Соловьев, М. Ф. Костров. Москва 1937, изд МЭИ, стр. 170

Литературы по лабораторным испытаниям, регулировке и настройке реле на русском языке недостаточно. Тем большее значение имеет каждая новая книга, посвященная этим вопросам. Рецензируемая книга содержит описание лабораторных работ по релейной защите, выполняемых студентами Московского энергетического института. И столь ограниченное содержание может сделать книгу нужной и полезной, если выбор содержания и характера выполняемых работ сделан удачно, а методика выполнения их разработана достаточно глубоко и продуманно.

Книга, однако, не удовлетворяет этим требованиям.

Половина работ (разделы Ж, З и И) может быть исключена без ущерба для изучения релейной защиты. В разделе Ж, например, описано испытание максимальной токовой защиты радиальной сети. Эти работы в громоздком виде (четыре одинаковых комплекта реле!) воспроизводят работы раздела Б. То же относится и к разделам З и И. Упражнения этих трех разделов имели некоторое значение в то далекое время, когда релейная защита была просто максимальной токовой защитой; такова, кстати, и историческое происхождение этих работ в лаборатории МЭИ.

Раздел Е («Описание работы по испытанию трансформатора тока») излишен за исключением: а) определения коэффициента трансформации; б) определения полярности; в) последовательного и параллельного соединения. Неужели студенту III—IV курса, изучающему релейную защиту, следует проделывать специальное упражнение для того, чтобы убедиться, что линейный ток трехфазной системы в $\sqrt{3}$ раз больше фазового (при соединении в треугольник) и т. д.? А другого смысла эти работы не имеют. Безусловно, эти упреки следует отнести не столько к авторам, сколько к руководству кафедрой.

В то же время в книге отсутствуют абсолютно необходимые для изучения релейной защиты работы по испытанию защиты «транслей», широко применяемой для защиты линий и трансформаторов, по испытанию блокировочных реле и реле с тормозными катушками, применяемых для защиты трансформаторов, и работы по испытанию токовых балансных реле и т. д. и т. п.

Методику выполнения упражнений авторы представляют себе весьма своеобразно. Они описывают схемы испытательных стендов (чрезвычайно устарелых, кстати), перечисляют последовательность переключения различных рубильников, дают после каждой задачи «рекомендуемую форму записи» и даже указывают размер листов бумаги. Это, разумеется, неплохо, но ясно, что этого совершенно недостаточно. Правильно понимаемая методика лабораторных работ по испытаниям реле заключается в изучении и анализе общих закономерностей, связывающих электромеханические свойства реле с его эксплуатационными характеристиками. Но об этом, главном и основном, авторы совершенно умалчивают.

Приведем два примера из наименее сложных упражнений.

Описывая определение тока трогания, авторы не говорят о том, что способ определения зависит от устройства подвижной системы реле и его принципа действия.

Излагая испытание реле направления, авторы совершенно не упоминают о таких абсолютно необходимых элементах испытания, как проверка отсутствия самоходного тока и напряжения. Даже текущие эксплуатационные испытания (не типовые и исследовательские), проводимые на станциях и подстанциях наших энергосистем, значительно шире по объему и содержанию.

В вопросах электроизмерительной техники авторы излагают свою неосведомленность. Приведем два примера: 1. Нигде не говорится о погрешностях измерений, которые в практической работе часто являются значительным препятствием и требуют применения весьма различных способов измерения. 2. На стр. 45 авторы рекомендуют «длинную» схему для измерения импеданса, совершенно неверно — выбор «длинной» или «короткой» схемы (кстати, авторы этих схем не различают) определяется соотношением величины измеряемого импеданса величин импедансов измерительных приборов. Практически же для работы, описанной на стр. 44, применяются да и специальную схему с ваттметром.

Приведем еще один курьезный пример. Нигде не упоминается о классах точности измерительных приборов, требуемых в лабораторных работах, на стр. 45 авторы неожиданно заявляют: «При всех замерах правками измерительные приборы пренебрегают». Вся соль замечания состоит в том, что приборы, о которых идет речь, относятся к III классу точности и поэтому никакие поправки не имеют, так что этими поправками поневоле приходится «пренебрегать».

Говоря о защите радиальной сети, авторы на стр. 46 заявляют: «Защита линий такой сети может быть выполнена вполне удовлетворительно с помощью простых максимально токовых реле» (разрешения наша).

Это неверное положение мы объясняем небрежностью авторов книги. Ведь так говорить можно было лет тридцать назад! Именно для таких сетей стали применяться станционные реле, ибо защитить такие сети с помощью максимальных токовых реле нельзя даже «просто» удовлетворительно.

Книга, являющаяся учебным руководством, пестрит ошибками выражениями: «Заметив на амперметре ток» (стр. 47), «Основная задача работы преследует цель» (стр. 109) и т. п. Авторы во многих местах книги пользуются сукобно-канцелярским языком, например: «Выполнения вышеуказанных функций...» (стр. 80) и т. Термин «максимально токовое реле» употребляется авторами без разделительной черточки, что делает выражение бессмысленным.

Подобная неряшливость абсолютно недопустима в учебных руководствах.

А. П. Новиков

НОВЫЕ КНИГИ

ГЕМКЕ Р. Г. Неисправности электрических машин, их причины и устранение. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 252 стр. с чертеж. Ц. 3 руб., перепл. 1 руб. Материал по основным неисправностям расположен в виде таблиц отдельно для машин постоянного тока, асинхронных двигателей и синхронных машин. Неисправности, могущие встретиться во всех машинах, изложены в виде общих таблиц. Описаны методы работ по устранению неисправностей.

ИВАНОВ А. Я., инж. Производство электрических измерений. Справочное пособие. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 200 стр. и чертеж. Ц. 2 руб.

В книге описаны: 1) классификация приборов и область их применения; 2) собственное потребление измерительных приборов и схем; 3) схемы внутренних и внешних соединений приборов; 4) способы проверки правильности включения приборов; 5) способы измерения сопротивления электропроводников и защитных заземлений.

Инструкция № М-221 по монтажу и эксплуатации разъединителей для внутренних установок на 6—10—35 kV. Л.—М., НКТП, Госконттора справочников и каталогов, 1937, 14 стр. с чертеж. (НКТП, Главэнергопром, завод «Электроаппарат»). Ц. 1 р. 40 к.

Инструкция № М-227 по монтажу и эксплуатации линейных разъединителей поворотного типа для напряжений от 10 до 100 kV. Л.—М., Госконттора справочников и каталогов, 1937, 57 стр. с чертеж. (НКТП, Главэнергопром, завод «Электроаппарат»). Ц. 2 р. 40 к.

ЛОБАЧ-ЖУЧЕНКО Б. М., проф. Электроходы. М., Госиздат, 1937, 140 стр. с иллюстр. Ц. 2 р. 50 к.

В книге описаны турбоэлектрические пассажирские суда и дизельэлектрические суда различного назначения: пассажирские, ледокольные, грузовые и наливные, буксирные и пожарные, железнодорожные, паромы, землесосы и землерепалки. Изложен вопрос о применении электроходов в военном флоте.

НИКИТИН В. П., д-р технич. наук. Электрические машины и трансформаторы для дуговой сварки. Т. I. Основы теории. Изд. 2-е переработ. и дополн. Утверждено ГУУЗ НКТП в качестве учебника для машиностроительных и энергетических вузов. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 233 стр. с чертеж. Ц. 3 р. 25 к., перепл. 75 коп.

Книга представляет собой переработанный курс лекций, данных автором в Московском механико-машиностроительном институте им. Баумана.

Нормы времени и расценки на электромонтажные работы. Утверждены распоряжением Главэлектропрома № 126 от 10/XI 1937 г. для обязательного применения в системе Главэлектропрома. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937.

Вып. 1. 1. Монтаж систем канализации электрической энергии. 2. Монтаж производственных, бытовых, сигнальных и осветительных приборов и аппаратов. 3. Монтаж электрических машин. 4. Монтаж пусковой и регулирующей аппаратуры, чугунных пунктов и ящиков. 306 стр. Ц. 9 р. 50 к.

Нормы времени на ремонтные работы на линиях элект-

тропередач (справочник). Составлено Техническим отделом Орггрэс. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 120 стр. с иллюстр. (Главэнерго НКТП СССР). Ц. 3 руб.

Нормы времени составлены на основе производственных норм Мосэнерго, Ленэнерго, Донэнерго и Уралэнерго с учетом стахановских методов производства ремонтных работ. Нормы охватывают только основные ремонтные работы по типовому устройству линий электропередач.

Приемно-усилительные лампы. Л.—М., НКТП, Гос. конттора справочников и каталогов, 1937, 245 стр. с иллюстр. (НКТП, Главэспром). Ц. 7 р. 50 к.

В справочнике даны сведения о принципах устройства, характеристиках, применении, габаритах: 1) электронных ламп, 2) ламп прямого накала для постоянного тока, 3) ламп прямого и косвенного накала для переменного тока, 4) трансляционных ламп и 5) барреторов.

Сборник статей по вопросам энергетики. Сентябрь—ноябрь 1937 г., М., Московский энергетический институт им. Молотова. Электротехнический факультет, 1937, 74 стр. с чертеж. Без цены.

В сборнике помещены статьи: проф. А. А. Глазунова «Практические методы определения мощностей синхронных компенсаторов из условий регулирования напряжения в электрических сетях энергосистем». Инж. Л. А. Солдаткина и инж. Л. Шицман «Современные конструкции кабелей весьма высокого напряжения». Проф. Б. А. Телешева «К вопросу о коммутации переключательных постов в длинных линиях передач» и др.

Электрические и магнитные измерения. Общий курс. Под ред. проф. Е. Г. Шрамкова. Утверждено ГУУЗ НКТП СССР в качестве учебного пособия для энергетических вузов. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 668 стр. с иллюстр. Ц. 13 р. 50 к., перепл. 2 руб.

Главное внимание в книге уделено теории электроизмерительной техники. В основу построения курса положен метод измерения электрических и магнитных величин (измерение силы тока и напряжения, сопротивления, магнитного потока и пр.). В каждой главе охвачены также вопросы лабораторной практики. При составлении книги использован многолетний опыт работы кафедры электроизмерительной техники в Ленинградском индустриальном институте.

«Электромеханик». Октябрь—ноябрь 1937 г. Научно-технический сборник электромеханического факультета МЭИ. М., Моск. энергетический институт им. В. М. Молотова, 1937, 46 стр. с чертеж. Без цены.

В сборник вошли статьи: проф. Е. В. Нитусов и инж. Н. Горелкин «Несимметрия напряжений расщепителя фаз при магнитном насыщении». Студ. В. Нагорский «Исследование работы преобразователя фаз методом симметричных составляющих». Инж. М. А. Чернышев «Элементы автоматизации типовых подстанций». Инж. В. К. Красуский «Построения векторных диаграмм для однофазных коллекторных двигателей» и др.

ЮРКОВСКИЙ Е. К. Электротехника для неэнергетических вузов. Л. М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 369 стр. с иллюстр. Ц. 5 р. 25 к., перепл. 75 коп.

ALVIN F. DARLAND. ГИДРОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЬ ГРАНД-КУЛИ НА Р. КОЛУМБИЯ (США). El. Engng., v. 56, № 11, ноябрь 1937

В США на р. Колумбия, шт. Вашингтон, пятый год продолжается строительство одной из самых крупных в мире гидроэлектростанций Гранд-Кули мощностью 2 млн. kW, которая интересна тем, что в некотором отношении она близка к запроектированной Куйбышевской гэс на Волге. В частности, обе гидроэлектростанции предусматривают отъем из реки и подъем насосами на большую высоту значительных количеств воды для орошения засушливых земель. Кроме того, обе гидроэлектростанции имеют примерно сходные параметры, как суммарная установленная мощность, годовая выработка энергии, мощность отдельных агрегатов, регулирующая способность водохранилища, выраженная в kWh, и объем строительных работ. Гидроэлектростанция Гранд-Кули является самой верхней регулирующей ступенью в каскаде из 10 гэс с полной обеспеченной мощностью 7,5 млн. kW, объединенных проектом комплексного — энергетического, транспортного и ирригационного — использования реки.

Из центральных каскада уже действует гэс Рок-Авен 60 MW и готовится пуск гэс Бонневиль 90 MW. Прямолинейная гравитационная плотина Гранд-Кули строительной высоты 168 м, сооружаемая в гранитном ущелье (рис. 1), поднимает уровень воды в реке до 102 м и создаст водохранилище полезным объемом 6 млрд. м³ при высоте призмы регулирования 245 м. В двух машинных зданиях будут установлены 18 вертикальных агрегатов — мощность турбины 150 000 kW и генератора 105 000 kW (120 000 kVA) — и три вспомогательных агрегата мощностью каждый 7500 kVA. В полном развитии гидроэлектростанция должна вырабатывать в год обеспеченной энергии 8,1 млрд. kWh и сезонной энергии 5 млрд. kWh, всего 13,1 млрд. kWh.

Подъем воды для орошения 500 тыс. га будет осуществляться на высоту 90 м из верхнего бьефа гидроэлектростанции насосной установкой с расчетной производительностью 450 м³/сек (рис. 2). Установка оборудована 12 вертикальными насосными агрегатами производительностью каждый 45 м³/сек, т. е. всего установленной производительностью 540 м³/сек. Каждый насос будет приводиться электрическим мотором мощностью 62 500 kW.

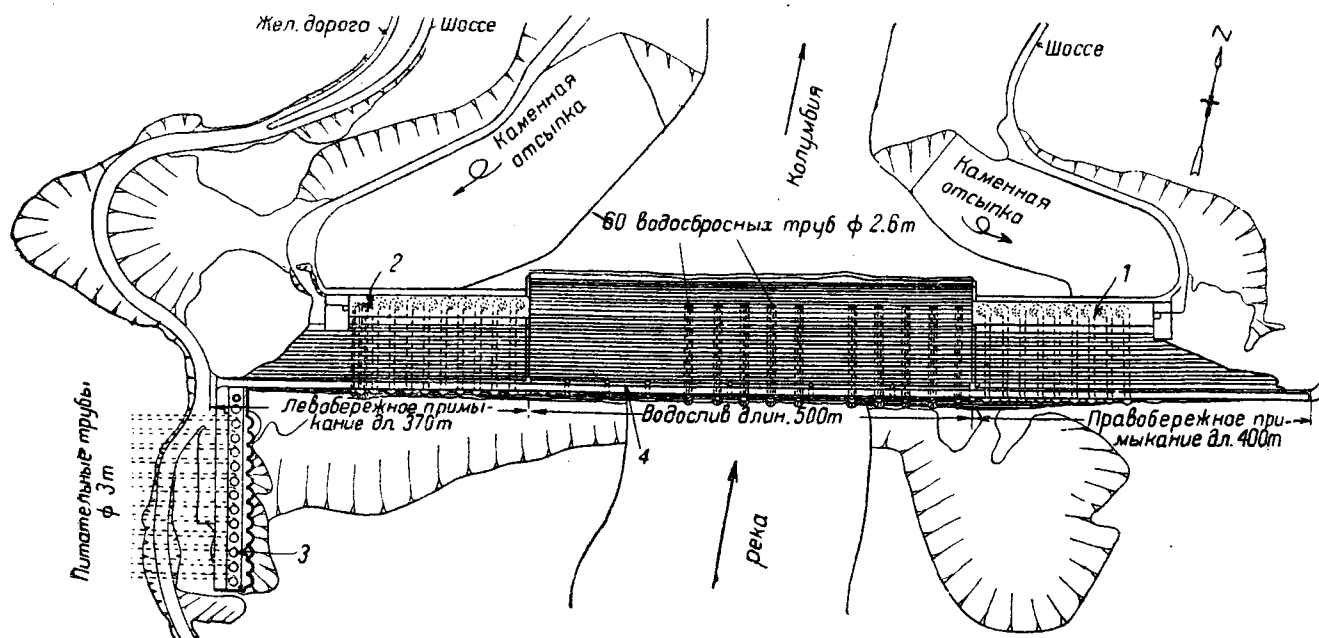


Рис. 1. План расположения сооружений узла Гранд-Кули. 1 — восточное машинное здание, 9 агрегатов общей мощностью 1 080 000 kVA; 2 — западное машинное здание, 12 агрегатов общей мощностью 1 025 000 kVA; 3 — 12 насосов общей производительностью 540 м³/сек; 4 — 11 секторных затворов размером 41 м на 8,5 м

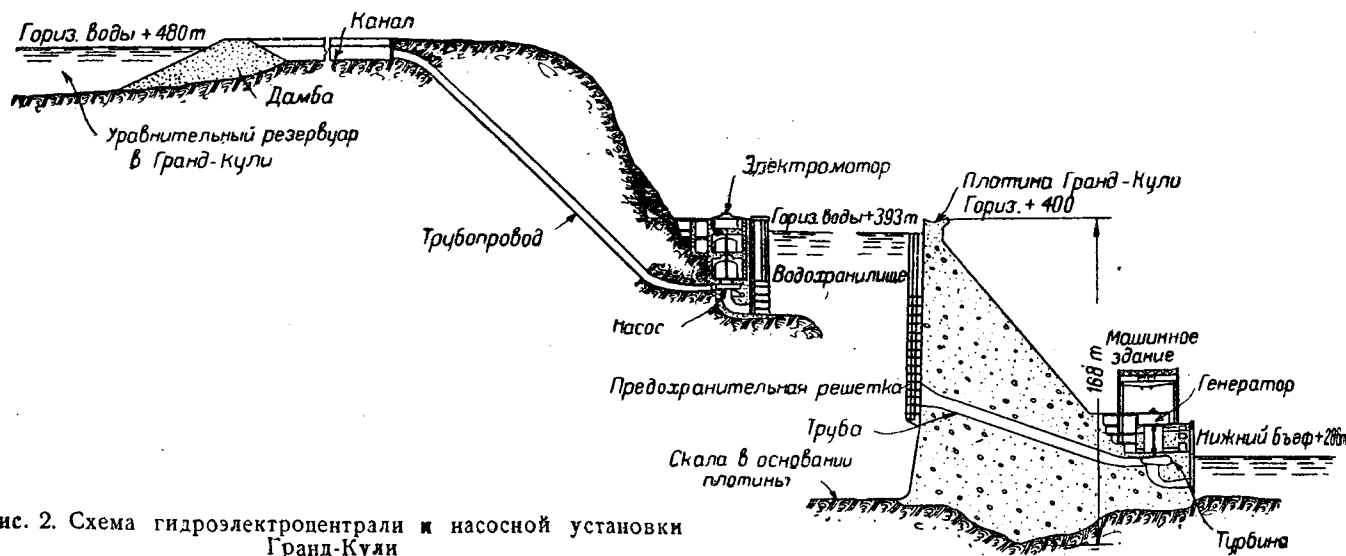


Рис. 2. Схема гидроэлектростанции и насосной установки Гранд-Кули

причем два насосных агрегата будут питаться одним агрегатом гидроцентрали. Отъем воды осуществится в размере немногим более $1/7$ среднего расхода воды реки, причем для подъема воды потребуются энергии пяти главных агрегатов гэс мощностью 600 000 kVA.

Подача воды к югу на орошаемые площади будет произведена на протяжении 80 км вдоль одного из древних русел ледникового периода, промытых р. Колумбия в гранитной скале высоко над современным уровнем реки. Это древнее ложе реки, геоморфологически весьма интересное и собственно называемое Гранд-Кули, дало наименование всему проекту. В Гранд-Кули создается промежуточный резервуар ирригационного назначения емкостью 50 млн. м³. Объем строительных работ по гэс Гранд-Кули составляют: укладка бетона — 8,6 млн. м³, скальных работ — 750 тыс. м³ и земляных работ — 15 млн. м³.

В первую очередь на гидроцентрали устанавливаются 1 главный и 2 вспомогательных агрегата. Предполагается, что пуск гэс будет осуществлен в 1941 г., причем полное развитие электрической мощности гидроэлектростанции произойдет в течение 15 лет после ее пуска. Осуществление ирригационной части проекта по предположению займет до 50 лет. Строительство финансируется федеральным правительством США и осуществляется Бюро земельных реclamation (U. S. Bureau of Reclamation).

Н. А. Караулов

Г. Н. HEDIN. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИБОР ИЗБАВЛЯЕТ ОТ ВЫЧИСЛЕНИЙ. El. Engng., v. 56, № 7, 1937, стр. 787—790

В реферируемой статье дается описание электрического механизма для вычисления провесов несущего троса цепной автоски при наличии на нем ряда сосредоточенных нагрузок.

В основу действия прибора положена известная идентичность веревочных многоугольников, применяемых для механических и электрических расчетов.

Действительно, для троса, натянутого с тяжением T в пролете длиной L и с приложенной на расстоянии X от одной опоры нагрузкой W , реакции опор находятся из соотношений: $R_1 = \frac{L-X}{L}W$ и $R_2 = \frac{X}{L}W$. Точно так же, если к ка-

кому-либо сопротивлению cL на расстоянии cX от его конца приложить ток I , то этот ток разделится по обоим плечам сопротивления на токи: $I_1 = \frac{L-X}{L}I$ и $I_2 = \frac{X}{L}I$. Если те-

перь в цепи токов I , I_1 и I_2 включить амперметры и выразить масштабные отношения между токами и силами, действующими на трос, то по амперметрам при условии градуировки их в единицах силы можно будет непосредственно отсчитывать, например, реакции опор при заданной нагрузке и заданных плечах ее приложения.

На основе этого простого примера построен более сложный электрический счетный прибор (рис. 1).

Он состоит из сопротивления (делителя токов), соответствующего несущему тросу и проградуированного по длине в единицах длины пролета или (что удобнее) от 0 до 100% длины пролета несущего троса. По делителю I может скользить любое количество ползунков, соединенных с регулирующими реостатами. Последними устанавливаются нагрузки в соответствующих точках делителя (несущего троса). Для измерения этих нагрузок служит только один амперметр 2, включаемый поочередно в цепь каждой нагрузки переключателями. Амперметр проградуирован в единицах веса.

Стрела провеса определяется по вольтметру, проградуированному в единицах длины и присоединенному с одной стороны к одному из питающих проводов и с другой — к ползуну, скользящему по тому же делителю. Устанавливая этот ползун в точке приложения той или иной нагрузки на вольтметре, непосредственно прочитываем величину стрелы провеса в этой точке. Два амперметра 4, включенные последовательно с делителем по обе стороны его и также проградуированные в единицах веса, дают возможность отсчитывать реакции опор.

Прибор питается от 2÷6-V батареи. Для возможности приложения нагрузок не только направленных вниз, но и направленных вверх, что иногда имеет место, предусмотрен специальный набор переключателей 5 для изменения направления тока в любой из цепей нагрузок.

Измерительные приборы, входящие в схему, должны быть

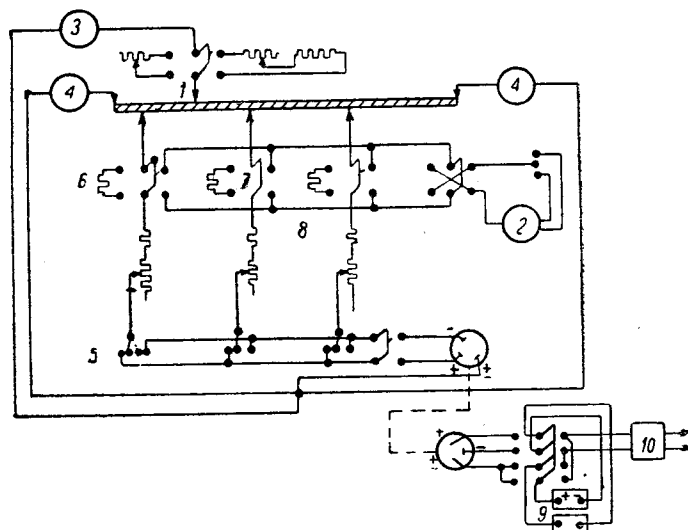


Рис. 1. 1 — делитель (шкала 0 ÷ 100% пролета); 2 — амперметр измерения нагрузки (шкалы: 0 ÷ 60 и 0 ÷ 600 фунт.); 3 — вольтметр измерения провеса (шкала 0—8'); 4 — амперметры отсчета реакции опор (0—1500 фунт.); 5 — переключатели направления нагрузки; 6 — сопротивление, компенсирующее сопротивление амперметра; 7 — переключатель; 8 — ограничивающее сопротивление; 9 — 2 ÷ 6-V аккумуляторная батарея; 10 — зарядный агрегат

очень чувствительны, так как токи во всех цепях очень невелики; вольтметр для определения стрел провеса должен иметь очень большое сопротивление, чтобы ток, им потребляемый, не влиял на точность отсчетов.

Точность подсчетов на электрическом счетном приборе этого типа достигает 0,25%, что даже превосходит точность при употреблении счетной линейки.

Операции с прибором очень просты и не требуют высокой квалификации от работающего. Как показал опыт, подсчет на приборе всех необходимых данных требует 5 мин и дает абсолютную безошибочность. Те же вычисления на счетной линейке требуют 40 мин, включая сюда и время на проверку их более квалифицированным работником.

Кроме решения задачи определения формы продольно-несущего троса при сосредоточенных нагрузках, прибор может применяться и для других вычислений при механическом расчете контактной сети, в частности, для вычисления стрел провеса и тяжений поперечно-несущего троса при гибких поперечинах, а также и для решения разных задач механики.

Л. А. Вислоух

К. BAUDISCH UND W. RAMBOLD. КОНДЕНСАТОРЫ СИЛЬНОГО ТОКА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО НАПЯЖЕНИЯ. Siemens-Z. № 9, 1937, стр. 461—478

Несколько лет назад при изготовлении конденсаторов сильного тока существовала тенденция к помещению батарей большой реактивной мощности в одном общем корпусе. Конденсаторы большой мощности конструктивно напоминали собой большие силовые трансформаторы: кожух конденсатора для улучшения теплоотдачи изготовлялся из ребристого железа и снабжался так же, как и в случае трансформатора, баком для расширения масла. Конденсаторы этого типа изготовлялись до напряжения 20 kV мощностью до 500 kVA в одном корпусе.

Повышение мощности и рабочего напряжения конденсаторных установок создало ряд затруднений, которые нельзя было преодолеть при старой конструкции, и в настоящее время конденсаторостроение перешло на новый тип конденсаторных батарей, собираемых из отдельных стандартных единиц, представляющих собой готовые конденсаторы, соединяемые в последовательно-параллельные группы¹.

¹ Этот принцип уже давно применяется в конденсаторостроении американскими фирмами. Прим. В. Р.

При высоком напряжении один из выводов конденсатора соединяется с корпусом, поэтому за счет установки конденсаторов на опорных изоляторах удается получить значительную экономию в изоляции конденсаторных секций от корпуса; кроме того, при уменьшении мощности в одном корпусе улучшаются условия теплоотвода конденсатора и удается снизить количество масла. Конденсаторные батареи нового типа изготавливаются общей мощностью свыше 10 000 kVA для непосредственного включения в сеть напряжением до 110 kV. Не представляет особых трудностей изготавливать конденсаторные батареи такого типа даже для непосредственного включения на 220 kV.

При таких высоких рабочих напряжениях конденсаторных батарей приходится уделять значительное внимание вопросам включения и выключения батарей и ее отдельных секций. Авторами приводится общая схема включения для случая рабочего напряжения батареи 100 kV и разбирается вопрос о включении и выключении одной из секций этой батареи мощностью 3000 kVA с учетом возникающих при этом толчков тока. Авторы рассматривают также вопрос защиты конденсаторной батареи столь высокого рабочего напряжения. Особенный интерес представляет схема фотоэлектрической защиты, сигнализирующая о неисправностях в отдельных секциях и позволяющая быстро найти дефектную секцию.

Применение конденсаторных батарей низкого и среднего напряжения в основном заключалось в исправлении коэффициента мощности промышленных установок. Конденсаторы высокого напряжения порядка нескольких десятков киловольт применяются теперь также для компенсации реактивного сопротивления высоковольтных линий передач. Для этой цели конденсаторные батареи устанавливаются на открытом воздухе на нескольких участках по длине линии. Следует отметить, что установку конденсаторной батареи можно рассматривать как включение чистой реактивной мощности, поскольку потери энергии в конденсаторах современного изготовления очень малы (менее 0,2%).

При сравнении эффективности применения статических конденсаторов и синхронных компенсаторов, авторы приходят к выводу, что при рабочих напряжениях выше 10 kV конденсатор имеет неоспоримое преимущество перед синхронным компенсатором, если включается непосредственно на линию (без промежуточного трансформатора). Синхронный компенсатор может иметь известное преимущество перед статическим конденсатором только при высоких значениях потребной реактивной мощности и при относительно небольшом годовом времени работы.

В заключение авторы рассматривают вопрос о влиянии включения сосредоточенной емкости в виде конденсаторной батареи на явления перенапряжения в высоковольтных линиях и разбирают поведение высоковольтных трансформаторов при явлении резонанса токов и напряжений в высоковольтной линии, обусловленном включением конденсаторной батареи.

В. Т. Ренне

МОСТИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФОРМЫ КРИВОЙ. Physikalische Zeitschrift, 1937, стр. 105

H. Linckh разработал схему, позволяющую с точностью до 0,1% определять отклонение исследуемой кривой напряжения от синусоидальной формы. Из схемы мостика, приведенной на рис. 1, видно, что исследуемой кривой напряжения противопоставляется напряжение синусоидальной формы, совпадающее с ним по фазе, частоте и амплитуде. Это синусоидальное напряжение получается в результате прохождения исследуемого напряжения через омическое сопротивление в резонанс настроенной цепи. При наступлении резонанса через сопротивление R_2 течет ток, который находится в фазе с исследуемым напряжением.

Вторая часть мостика, состоящая из сопротивлений R_3 , R_4 , позволяет компенсировать амплитуды напряжений. При наступлении резонанса для мостика имеет место следующее соотношение:

$$\frac{C}{L} R_1^2 = 1 - \omega^2 LC = \frac{R_1 R_3}{R_2 R_4}$$

Для настройки мостика применяется гальванометр с выпрямителем, устанавливаемый на минимальный отброс. Ве-

личина этого отброса и есть мера отклонения исследуемого напряжения от синусоидальной формы кривой.

Показания прибора пропорциональны среднему арифметическому значению гармоники, и поэтому, как показывают опыты, оценка по показаниям прибора не вполне надежна. Значительно более точно определяется амплитудное значение гармоники или осциллографически или непосредственно отсчетом с помощью тиратрона.

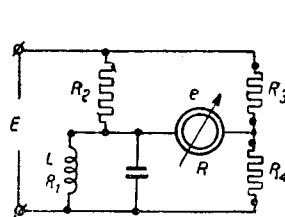


Рис. 1. Принципиальная схема мостика

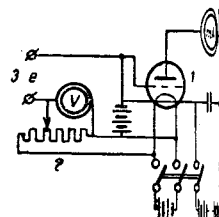


Рис. 2. Схема мостика с тиратроном
1 — тиратрон, 2 — делитель напряжения, 3 — напряжение мостика

В этом случае (рис. 2) напряжение мостика накладывается на сетку тиратрона 1.

При измерении добавочное сопротивление 2 устанавливается таким, чтобы зажигания тиратрона не происходило.

При включении анодного переключателя добавочное напряжение u на делителе напряжения уменьшается, и тиратрон начнет светиться. Разность потенциалов зажигания u_0 дает амплитудное значение напряжения мостика. $E_{эф}$ — эффективное значение исследуемого напряжения, его отклонение от синусоидальной формы кривой

$$\delta\% = \frac{(u_1 - u_0) f \cdot 100}{E_{эф} \sqrt{2}}$$

где

$$f = \frac{R_3}{R_1} + \frac{R_3}{R} + 1.$$

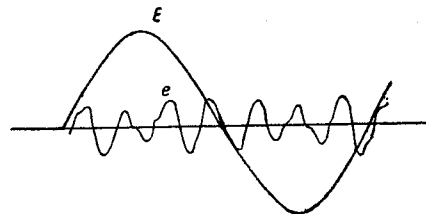


Рис. 3. Осциллограмма исследуемого генератора

Пример измерения формы кривой приведен на рис. Здесь E — междуфазное напряжение и e — кривая высших гармоник. Из осциллограммы получается наибольшее отклонение кривой напряжения от синусоидальной формы $\delta = 0,85\%$ основной волны. С помощью тиратрона среднее значение измерений равно 0,88. Точность отдельных измерений может быть меньше 0,1%.

П. П. Храмов

E. E. CHARLTON AND F. S. COOPER. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ГАЗОВ. GER № 9, сентябрь 1937, стр. 43

Реферируемая статья дает результаты обширных экспериментальных работ авторов в области изучения электрической прочности различных газов и обзор литературных данных по этому вопросу. Авторы пользовались при своих исследованиях установкой, изображенной схематически на рис. Пробой производился переменным напряжением. Электроды были выполнены из никеля и тщательно отполированы. Форма электродов «грибковидная» с радиусом обрешенных друг к другу сферических поверхностей 50 мм при диаметре искрового промежутка от 3 до 6 мм, так что поле между электродами получалось довольно равномерным. Стекла сосуда с двумя кранами, в который были вмонтированы электроды, заполнялся испытуемым газом, причем принимались особые меры предосторожности для того, чтобы в сосуде не оставалось примесей того газа, который испы-

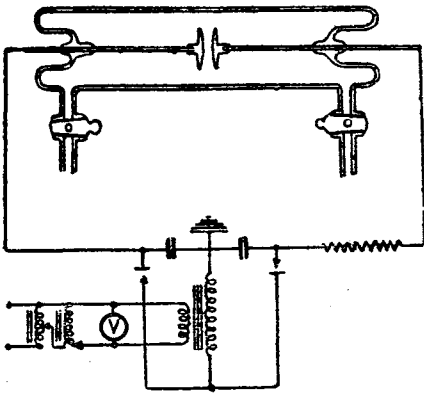


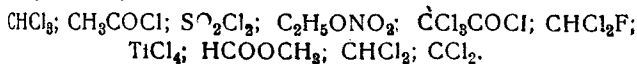
Рис. 1

в нем ранее. Промежуток между электродами освещался гамма-лучами для устранения запаздывания разряда. Помимо химически индивидуальных газов, авторы испытывали также азот, насыщенный парами различных жидкостей. Обнаружено, что целый ряд веществ в газообразном состоянии имеет значительно более высокую пробивную прочность, чем азот (т. е. чем воздух, так как пробивная прочность воздуха практически равна пробивной прочности воздуха); но обстоятельство может иметь очень большое практическое значение при создании газовой изоляции на высокие напряжения. Особенно замечательны в этом отношении некоторые соединения углерода с галоидами, прежде всего с хлором и фтором.

Из весьма большого количества числовых данных, приводимых в реферируемой статье, мы дадим здесь краткую таблицу характеристик лишь для тех газов и смесей, которые наиболее часто встречаются в промышленных установках или которые дают особо высокие и особо низкие значения пробивной прочности. В таблице в первой графе приведена химическая формула газа (или же жидкости, пары которой насыщали азот), причем вещества в таблице приведены в порядке понижающейся пробивной прочности; во второй графе — упругость паров вещества в смеси с азотом при температуре 23° и общем давлении 760 мм рт. ст. (значение 760 в этой графе указывает на то, что испытывался чистый газ без примеси азота); в третьей графе — температура кипения вещества в °C; в четвертой графе — относительная пробивная прочность, т. е. отношение пробивного напряжения газа или смеси при 23° C и 760 мм рт. ст. к пробивному напряжению между теми же самыми электродами и при той же самой длине искрового промежутка при тех же значениях температуры и давления, но в чистом азоте.

Вещество	Давление паров мм Hg	Температура кипения °C	Относительная пробивная прочность	Вещество	Давление паров мм Hg	Температура кипения °C	Относительная пробивная прочность
CCl ₃ F	725	24,1	3,0	CS ₂	330	46,3	1,50
C ₂ Cl ₂ F ₄	760	3,8	2,8	H ₂ S	760	60,75	1,30
C ₂ Cl ₂ F ₆	306	47,2	2,6	C ₂ H ₄	760	103,9	1,21
CCl ₂ F ₂	760	28	2,4	N ₂ O	760	89,5	1,14
BCl ₃	760	12,7	2,3	C ₂ H ₂	760	83,6	1,10
CH ₃ I	370	42,35	2,2	CO	760	191,59	1,02
SO ₂	760	-10,0	1,9	CO ₂	760	28,5	0,88
PCl ₃	113	76	1,9	C ₆ H ₆	85	79,7	0,84
SOCl ₂	110	75,6	1,65	CH ₃ CN	—	97,2	0,73
CCl ₄	105	76,74	1,65	CH ₂ F ₂	—	—	0,69
Cl ₂	760	-34,6	1,55				

Помимо указанных в таблице веществ, высокую относительную пробивную прочность (в пределах от 1,58 до 1,1) имеют следующие вещества (в порядке убывающей пробивной прочности):



Большое число газообразных веществ имеет пробивную прочность, не отличающуюся (в пределах точности 1%) от пробивной прочности азота.

Очень большой практический интерес представляет возможность использования для газовой изоляции дихлордифторметана CCl₂F₂. Он не имеет цвета и запаха, не ядовит, стоек химически, не вызывает коррозии. Особо полезным может быть его применение в газовой изоляции, работающей при повышенном давлении, так как его пробивная прочность быстро возрастает при повышении давления. В случае работы изоляции при атмосферном давлении с успехом может быть использован трихлормонофторметан CCl₃F, занимающий в таблице первое место.

Авторы приводят весьма благоприятные результаты испытания высоковольтного трансформатора с газовой изоляцией (дихлордифторметан под давлением).

Б. М. Тареев

Р. С. Большой интерес может представить применение газов с повышенной пробивной прочностью для кабельной изоляции, в частности, для кабелей с бумажной изоляцией, работающей под давлением газа.

Б. Т.

ТАДАО ИТОН. ОБРАЗОВАНИЕ ГАЗА И САЖИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВОЛЬТОВОЙ ДУГИ НА ИЗОЛЯЦИОННОЕ МАСЛО. ЕТJ, т. I, № 3, август 1937, стр. 95–98

Автором проведены в химическом институте университета в Киото подробные измерения количеств газов и коллоидного углерода (сажи), выделяющихся в минеральном изоляционном масле под действием многократно повторяющихся дуговых разрядов. Количество газа, выделяющегося в масле, возрастает при увеличении числа разрядов данной мощности, однако не пропорционально числу разрядов, а медленнее; это обстоятельство автор объясняет тем, что при первых разрядах вместе с выделяющимся при разряде (вследствие пирогенетических химических реакций) водородом уносится также воздух, бывший в масле в растворенном состоянии; по окончании выделения воздуха выделяется один лишь водород в количествах, пропорциональных числу последующих разря-

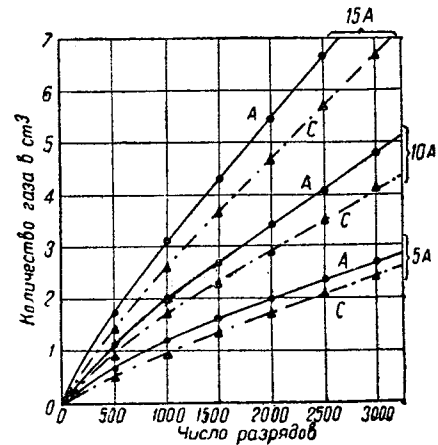


Рис. 1

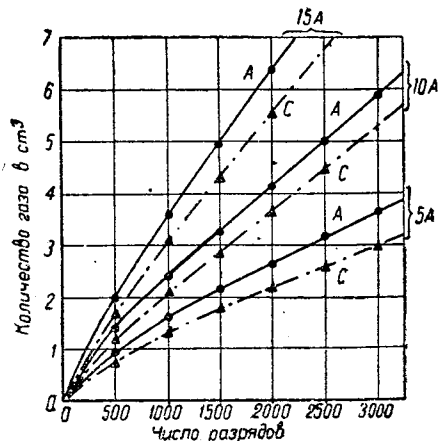


Рис. 2

дов. Тщательная очистка и дистилляция при глубоком вакууме (около 10^{-5} мм рт. ст.) вследствие удаления значительной части растворенного воздуха и обогащения масла химически более стабильными насыщенными углеводородами дают масло, выделяющее меньшее количество газа, а также и сажи, а потому более пригодное для работы в масляных выключателях. Количество выделяемой сажи пропорционально числу разрядов. Сказанное иллюстрируется кривыми рис. 1—4. На рис. 1 дано выделенное в функции числа разрядов количество газа в см^3 ; разры-

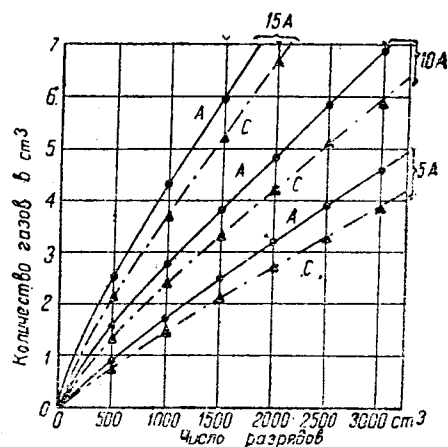


Рис. 3

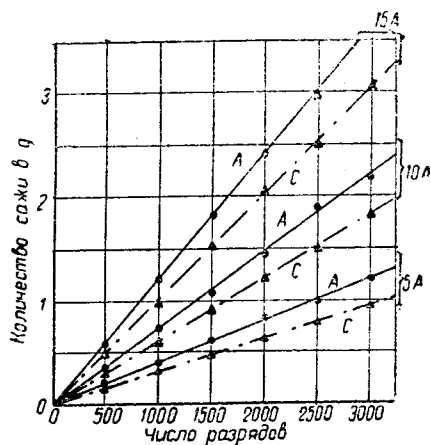


Рис. 4

вался ток соответственно 10; 15 и 20 А при напряжении 40 В. Рис. 2—то же, но при 70 В; рис. 3—при 110 В. Рис. 4—количество сажи в г при разрыве напряжения 40 В. Во всех случаях дуга—постоянного тока. Кривые А соответствуют свежему американскому маслу Vacuum Oil А, кривые С—маслу того же происхождения, бывшему в эксплуатации, но подвергнутому вышеуказанной очистке. В различных случаях соотношение между количествами выделившихся газа и сажи колеблется в весьма узких пределах: на 1 л газа выделяется от 0,44 до 0,50 г сажи.

Б. М. Тареев

О ВЛИЯНИИ ПРИМЕСЕЙ В ЭЛЕКТРОДАХ НА АЗОТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ. ETZ № 29, 22 июля 1937, стр. 797

Вследствие поглощения свариваемой сталью азота и образования нитридов удлинение, поперечное сжатие и твердость металла в шве сильно изменяются в худшую сторону. Этому явлению можно противодействовать посредством связывания азота водородом или же обмазкой электродов. В последнем случае полного разрешения этой задачи не получается, так как при нем можно достигнуть только частичного понижения концентрации нитридов, ниже которого практически идти нельзя. Так например, при обмазке электродов, состоящей из 40% кремнезема, 57% окиси железа и 3% глинозема, можно дойти до 0,04% нитрида железа, а эта граница является сравнительно опасной.

Для дальнейшего удаления азота было предложено вводить в состав металла электродов или обмазки их специальные примеси. В качестве таких элементов вводились в состав металла электродов углерод, марганец, кремний, хром, молибден, титан, ванадий, циркон и уран. Металлы для электродов готовились из чистого шведского железа, богатых ферросплавов в электрической печи.

Опыт показал, что из числа указанных примесей в электродах уменьшают склонность металла шва к поглощению азота углерод, кремний и марганец, в то время, когда все прочие примеси, кроме титана, в особенности молибден, циркон и хром, благоприятствуют насыщению металла шва азотом (статья D. Séférian, Rev. Soud. aut., v. 27, 1937).

И. И. Тихонов

N. SCHNOLL. УВЕЛИЧЕНИЕ АКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ АНОДНОЙ ФОЛЬГИ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРАХ. Electronics, май 1937, стр. 30—32; 48

Для уменьшения габаритов электролитических конденсаторов можно прибегать к увеличению удельной емкости, приходящейся на единицу площади анодной пластины путем проведения глубоких штрихов на поверхности алюминия. При этом при тех же размерах анодной пластины мы получаем увеличение ее активной поверхности, а следовательно, и увеличение емкости конденсатора. Применение анодной фольги, покрытой такой штриховой («гравированной» фольги), было впервые предложено Кольсоном еще в 1920 г., но практическое внедрение ее в производство началось только в последние два-три года. При рациональном поставленном процессе гравировки удастся уменьшить в 2 раза объем конденсатора, не снижая емкости исходного типа.

Сухие конденсаторы с гравированной фольгой имеют увеличенные потери ($\text{tg } \delta$ порядка 5—10%, тогда как у обычных сухих электролитических конденсаторов $\text{tg } \delta$ около 1—2%), но срок службы их тот же, что и у обычных конденсаторов. Мокрые конденсаторы с гравированной анодной фольгой имеют даже уменьшенные потери, так как за счет уменьшения размеров анода удается увеличить сечение пути тока и снизить сопротивление электролита, от которого в сильной степени зависят потери в этих конденсаторах. В случае мокрых конденсаторов целесообразно производить гравировку не только анодной фольги, но и поверхности катода (служащего корпусом конденсатора). Увеличение активной поверхности катода вследствие гравировки ослабляет эффект заформовки катода (т. е. эффект образования на катоде оксидной пленки, сопутствующий сильным пульсациям напряжения), снижающий эффективную емкость конденсатора.

В таблице показаны результаты измерения емкости и потерь мокрых электролитических конденсаторов с различной обработкой внутренней поверхности корпуса (катода). Измерения производились до и после работы в течение 66 ч, при удвоенном значении напряжения пульсаций (по сравнению с нормальным).

Материал корпуса	Начальные данные		После 66 ч работы	
	емкость μF	$\text{tg } \delta$ %	емкость μF	$\text{tg } \delta$ %
Алюминий	18,3	6,4	16,5	8,5
Гравированный алюминий	19,4	6,3	19,8	7,0
Хромированный алюминий	19,4	6,25	19,7	7,0

Данные таблицы показывают, что при отсутствии специальной обработки поверхности катода (корпуса) происходит снижение емкости порядка 10%; гравировка так же, как и хромирование, обеспечивает стабильность емкости. По мнению автора в настоящее время процесс гравировки алюминия в производстве электролитических конденсаторов настолько хорошо освоен и так оправдал себя на практике, что целесообразно поставить вопрос о полном переводе всех типов мокрых электролитических

конденсаторов на гравированную фольгу, а также о пере-
воде на эту фольгу значительной части типов сухих
электролитических конденсаторов.

В. Т. Ренне

A. SCHULZE. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ АЛЮМИНИЯ.

Phys., Zts., т. 38, 15 июня 1937, стр. 445

В связи с наблюдающимися нередко отклонениями ха-
рактеристик проводникового алюминия от нормальных
значений, автором предпринято обширное исследование
свойств этого металла. Были обследованы образцы алю-
миния, употребленного для более чем 70 различных воз-
душных линий электропередач. Средние результаты для
исследованных образцов: удельное электрическое сопро-
тивление $0,02810 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$, температурный коэффициент со-
противления $0,0039-0,0040$; прочность на разрыв
 90 kg/mm^2 ; удельный вес $2,705$.

Б. М. Тареев

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПАРОВОЗА. El. R., v. CXXI, № 3131, 26, November 1937, p. 752

Интересное нововведение сделано Лондонской северо-
восточной компанией ж. д., устроившей электрическое
освещение нижней части своих новых (10 000) обтекаемой
формы паровозов, что облегчает их ночной осмотр.
Ток подается от специальной динамомашин, исполь-
зуемой также для электрического освещения будки маши-
ниста.

С. И. Толкачев

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ВАГОНЕТКА-ТРАНСПОРТЕР. Electric Railway Traction, 15 октября 1937

На одном из лондонских кирпичных заводов были пу-
щены в эксплуатацию 6 вагонеток-транспортёров для
перевозки кирпича с одной системы рельсов на другую,
расположенную под прямым углом к первой.

Каждая вагонетка приводится в движение двумя мото-
рами постоянного тока (220 V, 680 об/мин) по 20 л. с.
фирмы British Thompson-Houston. Моторы установлены
вертикально и вращаются в шариковых и роликовых под-
шипниках. Моторы — серийные с добавочными полюсами
открытого типа для защиты от песка и пыли. Ток соби-
рается единственным пантографом, расположенным на
крыше кабины.

Моторы управляются стандартными контроллерами
шунтируемого типа, серийно-параллельные с реостатным
торможением; помимо обычных пусковых сопротивлений,
установлена добавочная секция для получения самой
малой скорости, необходимой для обеспечения точной
становки вагона против соединений примыкающих рель-
сов, которые расположены под прямым углом к основному.
Этому способствует также наличие контактной панели
кнопочным управлением. Две кнопки «вперед», «назад»
монтированы в удобном и доступном месте с каждой
стороны вагонетки.

Когда вагонетка точно устанавливается в нужном месте,
она подводится к 5 л. с. мотору с зубчаткой, который
приводит в действие устройство, направляющее груз (око-
ло 15 т) на примыкающую линию.

М. Д. Трейвас

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДИЗЕЛЬЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЛОКОМО- ТИВ. Railway Age, 25 сентября 1937, стр. 396—398

90-т дизельэлектрический локомотив, годный для ком-
мунированного обслуживания маневрового, передаточного,
пассажирского и грузового движения, сконструирован для
работы на участке Fort Worth & Denver City.

Локомотив снабжен двумя четырехтактными дизелями
Cummins модели VL-12 мощностью по 500 л. с. при
300 об/мин. Дизели V-образного типа с шестью цилин-
драми в ряд с каждой стороны, расположенными под
углом 50° .

Вес каждого дизеля со стандартным оборудованием
составляет 6,5 т.

Дизель через гибкий стальной диск спарен с однополюс-
ным дифференциальным генератором с расщеплен-
ным полюсом типа GT-543.

Генератор снабжен тепловым реле для компенсации

изменений при некоторых температурах в обмотке воз-
буждения, вследствие чего характеристика генератора пол-
ностью соответствует мощности машины. Каждый гене-
ратор питает два тяговых мотора по 415 л. с. типа
GE-716.

Электропневматическое управление позволяет осуще-
ствлять комбинацию включения моторов и шунтировку их
полюсов. Первая комбинация — два мотора соединены после-
довательно, вторая — параллельно. Переход от одной ком-
бинации моторов к другой и к шунтировке производится
автоматически без ущерба для электрооборудования.

Отрицательный полюс генератора присоединен к земле
через катушку земляного реле; последнее при срабатыва-
нии выключает поле возбуждения генератора. Кроме того,
на локомотиве имеется реле, срабатывающее тогда, когда
ток превосходит определенное значение; при этом реле
автоматически восстанавливает поле возбуждения, если
оно было шунтировано, или же при наличии полного поля
создает первую комбинацию моторов.

Все операции на локомотиве производятся посредством
кнопок на доске управления.

М. Д. Трейвас

ИНДУКЦИОННЫЙ СПИДОМЕТР. The Railway Gazette, 12 ноября 1937, стр. 858—859

Желая оборудовать кабины машинистов нового подвиж-
ного состава указателями скорости, лондонские дороги не
могли использовать существующие типы спидометров
из-за сложности механической передачи. Предложенная
конструкция электрического спидометра состоит из гене-
ратора частоты и частотомера. Генератор образован ря-
дом выступов, расположенных на спицах вагонного ко-
леса и движущихся между полюсами постоянного магнита,
на который намотана обмотка. На рисунке показан разрез
такого генератора. Постоянный магнит M из никель-алю-
миниевого сплава создает мощный магнитный поток, замы-
кающийся через катушки CC , полюсные наконечники PP
и якорь A (последний приварен к каждой спице колеса W).
Когда якорь проходит между полюсами, магнитное сопро-
тивление воздушного промежутка сильно понижается, так
что магнитный поток, пронизывающий катушки CC , увели-
чивается и индуцирует напряжение, частота которого
прямо пропорциональна скорости колеса и, следовательно,
поезда.

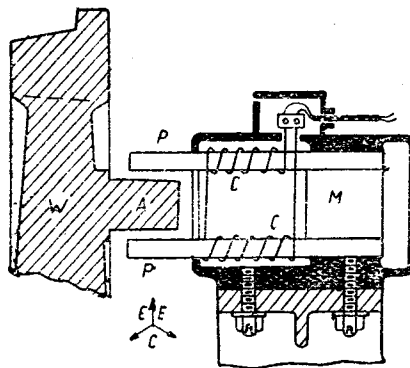


Рис. 1

На спицах расположено 8 или 10 якорей — по одному
на спицу. В этих случаях при скорости 96 km/h якорь
проходит между полюсами 80 или 90 раз в секунду, так
что для предела скоростей от 32 до 130 km/h частота
варьируется в пределах 30—120 Hz. Частотомер-спидо-
метр имеет подвижную катушку, что представляет ряд
преимуществ, так как при этом он аperiodичен, имеет
равномерную шкалу и почти не поддается влиянию по-
стоянного магнитного поля, что важно, так как вблизи
него проходят кабели, несущие большие токи. Вследствие
того, что при износе бандажа в показаниях индикатора
появляется ошибка, он снабжается компенсирующим рео-
статом, меняющим при вращении колеса чувствительность
частотомера. Генератор помещается в алюминиевый водо-
непроницаемый ящик, смонтированный на тележке. Пара
армированных проводов, сопротивление которых не игра-
ет роли, соединяет генератор с частотомером.

М. Д. Трейвас

ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОХОДНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ МАРКИ Е 18. ETZ, Н. 43, 28 октября 1937, стр. 1165

Мюнхенская электротехническая испытательная станция германских государственных ж. д. сделала недавно подробное исследование электровоза Е 18. Главнейшие показатели для этого электровоза: общий вес — 108 т, сцепной вес — 80 т; мощность мотора при трогании — 3550 kW, часовая — 3120 kW, длительная — 2820 kW = 3840 л. с., кратковременная — 4740 kW. Наибольшая скорость в эксплуатации — 150 км/ч; при пробных поездках — 165 км/ч. При пробных поездках измерения делались для поездов среднего веса (общим весом в 500 т) при возможно большей скорости, а также для возможно более тяжелых поездов (общим весом от 700 до 800 т) со скоростями, установленными расписанием.

При скоростных испытаниях на участке Штуттгарт — Мюнхен электровоз работал под током в течение 0,61

всего времени пробега. Нагревание коллектора после пробега по Гейслингенскому подъему в 62,5°, а после пробега в указанном направлении в Мюнхене 65,5°. Средний расход электроэнергии 25 Wh на тонно-километр. При этом машинисте этот расход может быть ниже. На участке не 2,1‰ поезд весом в 500 т достигал скорости в 120 км/ч при разбеге на 2,3 км в течение 129 сек, соответствующее ускорению = 0,258 м/сек², а скорости в 165 км/ч после разбега на длине 7 км в течение 243 сек при среднем ускорении = 0,188 м/сек². У наиболее тяжелых поездов потребление энергии равно 21 Wh на тонно-километр; нагрев коллектора был несколько выше допустимого при регулярной работе электровозов.

Величина допустимых перегрузок находится в зависимости от числа перегрузок в течение часа, так как каждая перегрузка вызывает порчу щеток. Поэтому перегрузка должна быть тем ниже, чем чаще бывает трогание поезда.

И. И. Тихонов

ВОЛОГОДСКАЯ

СОВЕТСКАЯ

ЦЕНТРАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

Вологда, Возрождения 9

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Передовая</i> — К XX годовщине Красной Армии и Военно-Морского Флота	1
<i>Русаковский Е. А.</i> — Основы нормирования потребления электроэнергии в промышленности СССР	3
<i>Лукин А. И.</i> — Телемеханика на канале Волга — Москва	12
<i>Горев А. А.</i> — Основные уравнения переходных процессов синхронной машины	15
<i>Розенберг Б. И. и Костенко М. В.</i> — Кривые фиктивного времени при отсутствии автоматического регулирования напряжения	22
<i>Калантаров А. В. и Краснов П. Л.</i> — Импульсный каскадный разряд на гирляндах изоляторов с защитной арматурой	29
<i>Гусев В. В.</i> — Применение тензорной алгебры в расчете скоростей восстановления напряжения на контактах выключателя	36
<i>Сазанов П. И.</i> — Автоматический магнитный осциллограф ВЭИ	39
<i>Белобрицкий В. М. и Перов А. М.</i> — Нестационарные режимы магнитных насыщенных контуров	42
<i>Дроздов В. И.</i> — Анодное падение и температура анода металлического ртутного выпрямителя	47
<i>На обложке</i> — Народный Комиссар обороны СССР, маршал Советского Союза К. Е. Ворошилов	

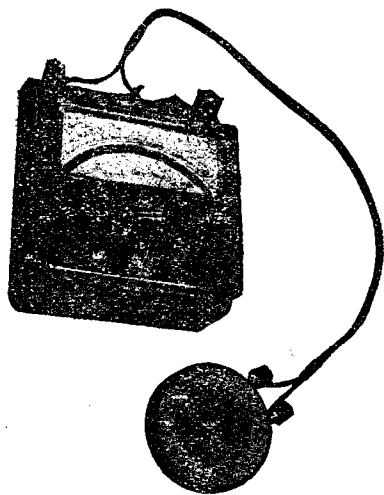
ИЗДАТЕЛЬ ОНТИ

Технический редактор А. П. Александрова
Зав. редакцией М. Г. Башкова

Отв. редактор Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ

Сдано в набор 24/II 1933 г. Подп. к печати 16/II 1938 г. Стат. ф. 226 × 293. Печ. л. 8,5. У. а. л. 11,05. Печатн. зн. в листе 7884

Уполн. Главлита Б-31140. 1-я Журн. тип. ОНТИ НКТП СССР. Москва, Денисовский пер., 30. Заказ 84. Тираж 11 000



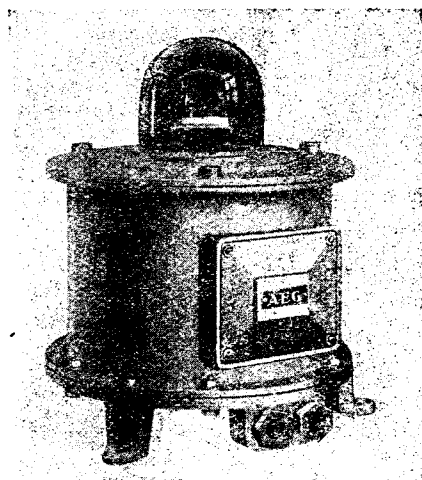
Электро-термостатический измеритель
освещения

AEG

**Точные
регистрирующие
приборы**

для записи тока,
напряжения, мощности и пр.

**приборы
регистрирующие время и
измеряющие температуру**



Прибор автоматически включающий
освещение при сумерках

Allgemeine Elektrizitäts - Gesellschaft

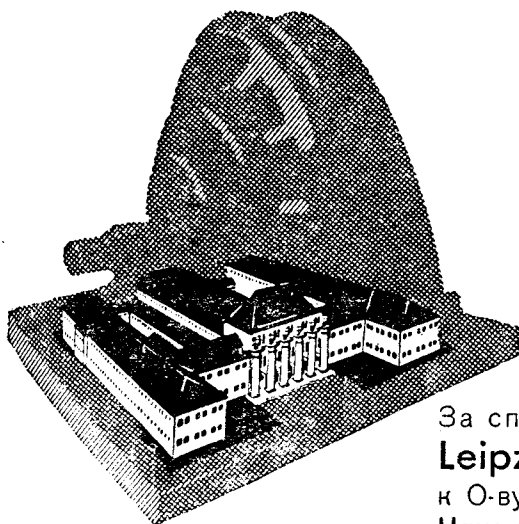
Abt. Russland — Berlin NW 40

9740

ЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Изделия

германской электротехники Весна 1938 г. с 6. по 14. марта

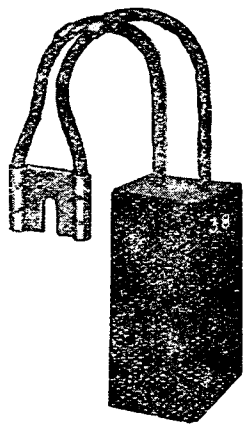


В рамках

**большой технической и
строительной ярмарки,
Лейпциг**

За справками обращаться к Ярмарочному Комитету:
Leipziger Messamt, Leipzig (Германия), а также
к О-ву „Здание Электротехники“ на Выставочной площади:
Haus der Elektrotechnik e. V., Ausstellungs-Gelände, Leipzig

6746

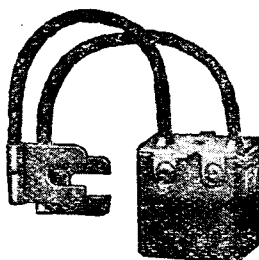
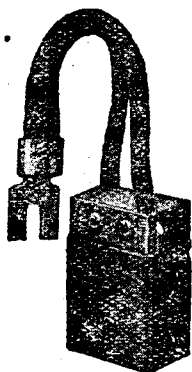
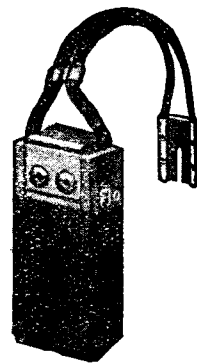


SCHUNK & EBE

GIESSEN (Германия)

Фабрика угольных щеток и щеткодержателей

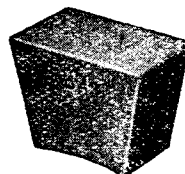
Мы являемся между прочим постоянным поставщиком всех сортов и качеств изображенных в настоящем объявлении угольных щеток для советских промышленных предприятий



Наша фабричная марка



Гарантия высокого качества

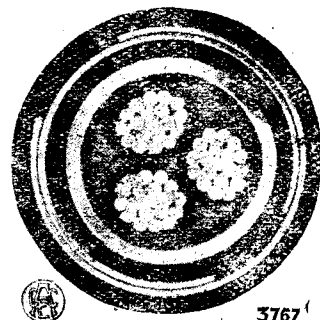
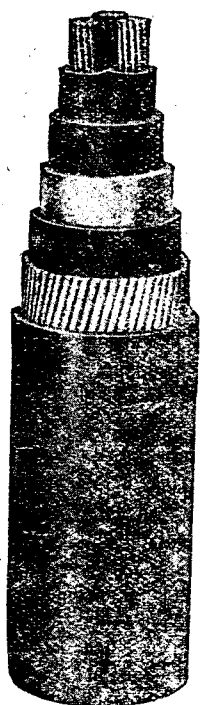


ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI

Мощные кабели любого напряжения, под свинцом и бронированные

- Кабели для очень высокого напряжения, металлизированные, для жидкого масла, под давлением
- Телефонные кабели, кабели для радиопередачи, сигнализации, кабели для шахт, кабели подводные
- Ящики для кабелей и разные принадлежности к ним
- Проволока и кабели под каучуковой изоляцией для всякого применения
- Проволока и кабели в условиях непогоды
- Проволока и кабели для сырых помещений и помещений с вредными парами
- Проволока и кабели лакированные, проволока для обмотки
- Трубки изолированные и неизолированные для электрического тока

Обручное железо холодной прокатки.



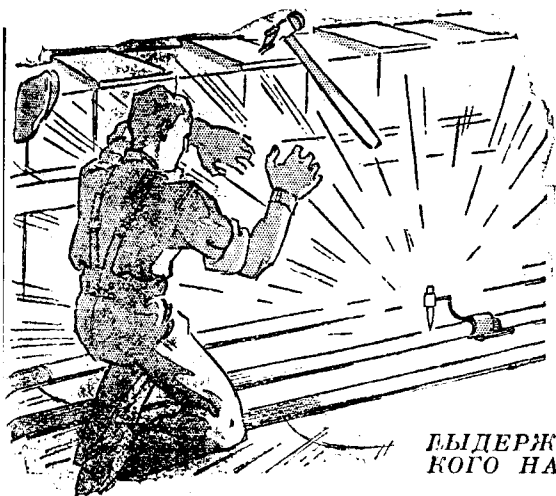
3767

Кабельный Завод
CABLERIE



Шарлеруа (Бельгия)
CHARLEROI

**Неужели Вы прокалываете Ваши кабели,
чтобы убедиться, есть ли в них ток?**



ВЫДЕРЖКА ИЗ ИНСТРУКЦИЙ ПО УХОДУ ЗА СЕТЯМИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ОДНОГО КРУПНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

„ и если, при вскрытии грунта, возникает малейшее сомнение относительно правильности местоположения кабеля, то необходимо проверить его положение по плану при помощи поверочных испытаний. . . “

**Испробовали ли Вы для этих испытаний прибор
для местонахождения кабеля фирмы**

Standard?

Бесчисленное множество несчастных случаев вызываются ошибками при распознавании кабелей.

Испытательный прибор “Standard” является единственным аппаратом на рынке, безошибочно определяющим любой кабель на любом участке.

Этот прибор отличается простотой конструкции и мгновенностью действия. Если Вы до сих пор еще не приобрели этих приборов, то просим затребовать проспект и цены.

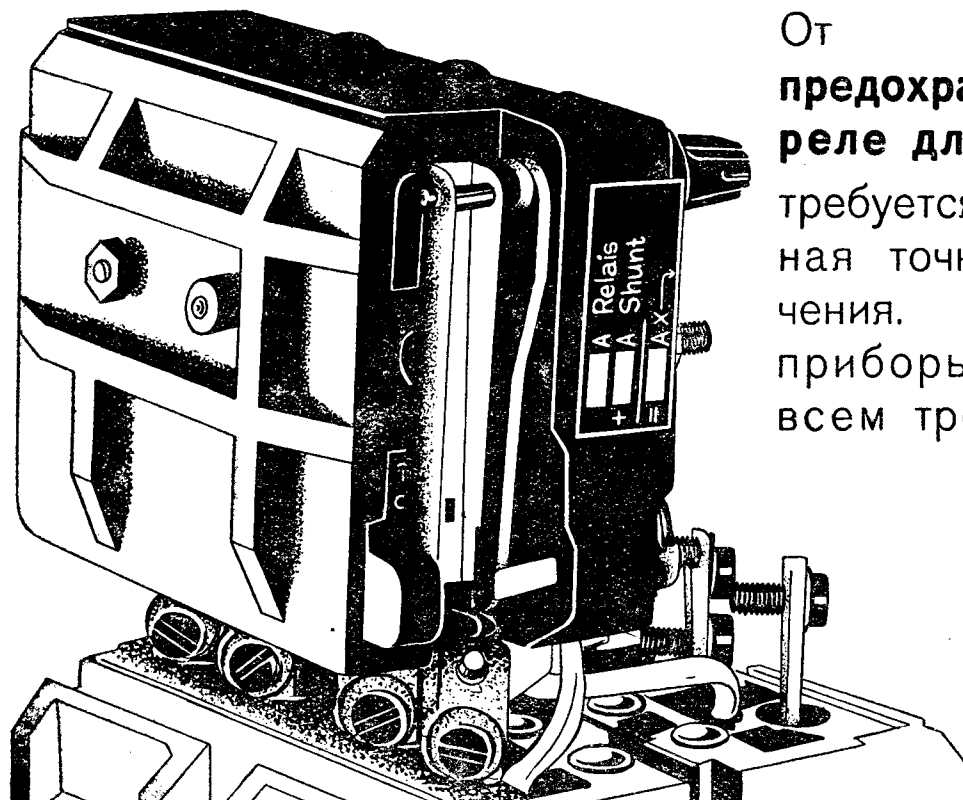
Standard Telephones and Cables Limited

NORTH WOOLWICH, LONDON, E. 16 - АНГЛИЯ

Телегр. адрес : WESTOPHONE, LONDON.

Отделения и представительства во всем мире

F. KLÖCKNER K.G., KÖLN-BAYENTHAL (ГЕРМАНИЯ)



От
предохранительного
реле для моторов
требуется абсолют-
ная точность вклю-
чения. — Наши
приборы отвечают
всем требованиям.

ТОВАРНА НА КАБЛЕ, АКЦ. О-ВО БРАТИСЛАВА (Чехословакия)

МЫ ИЗГОТОВЛЯЕМ:

все сорта изолированных кабелей и про-
водов для техники сильных и слабых
токов,

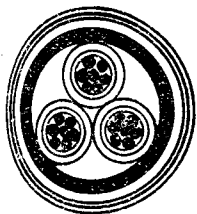
свинцовые кабели, телефонные кабели,
сигнальные кабели и

специальные патентованные кабели марки
„ФЛЕКСО“.

DRAKA

N.V. HOLLANDSCHE
DRAAD- EN KABEL FABRIEK
AMSTERDAM — HOLLAND

адрес для телеграмм: DRAKA · AMSTERDAM · ГОЛЛАНДИЯ



специальность:
все сорта проволоки и
кабелей для электричества
с резиновой изоляцией.



JOHNSON & PHILLIPS, Ltd.

ELECTRICAL ENGINEERS & CABLE MAKERS
CHARLTON LONDON

Джонсон и Филлипс, Лимитед
ЛОНДОН, АНГЛИЯ

○○○

Заводы ДЖОНСОН и ФИЛЛИПС предоставляют Вам воспользоваться их более чем 60-тилетней промышленной практикой, а также высококачественным выполнением, признанным инженерами всего мира

КАБЕЛИ вплоть до 33.000 вольт

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ДОСКИ

Специальность: распределительные
доски для индустрии

ТРАНСФОРМАТОРЫ

СТАТИЧЕСКИЕ КОНДЕНСАТОРЫ
для увеличения активности электрич. силы

**ВОЗДУШНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ПРОВОДКА** и материалы для нее

ИНСТРУМЕНТЫ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОДОНАГРЕВАТЕЛИ

ПОСЫЛАЙТЕ НАМ ВАШИ ЗАПРОСЫ!

Требуемую силу света

Вам непосредственно укажет отклонение стрелки измерителя освещения „Парвукс“. Обратите внимание на установленную для разного рода работ наименьшую освещенность

6735

(в lx)



Сплавы для сопротивлений

Манганин

для измерительных инструментов,

удельное сопротивление 0,43 ома, температурный коэффициент ± 0.00001 , термическая сила (по сравнению с медью) + 1 микровольт на 1°C .

Оба сплава содержат от 12 до 13% марганца, вырабатываемого в Дилленбурге из лучшего советского железняка. Изабелленхütte в течении почти 50 лет является единственным производителем сплава манганин, широко употребляемого на всем свете, а также в СССР для прецизионной измерительной техники. Нововыпущенный сплав Изабеллиан жароупорен до 600° и широко употребляется для сильно нагруженных технических сопротивлений и пусковых реостатов.

ISABELLEN-HÜTTE / HEUSLER K. G. / DILLENBURG (ГЕРМАНИЯ)

6741

Изабеллин

свободный от никеля сплав для технических сопротивлений,

удельное сопротивление 0,50 ома, температурный коэффициент — 0.00002, удельный вес 7,9—8.

Kabelfabrik- und Drahtindustrie-Aktiengesellschaft

Wien XII/3, Oswaldgasse 33 (Австрия)



Армированные и неармированные свинцовые кабели для всех напряжений

Телефонные междугородные кабели, телеграфные кабели, сигнальные кабели, судовые кабели, подводные кабели

Кабельная арматура

Укладка целых кабельных сетей

Армированные и неармированные свинцовые оболочки для проводов в сырых помещениях, или помещениях, подвергающихся действию кислот и щелочей

Все сорта изолированных проводов и кабелей

Канаты и провода для голой воздушной проводки из меди, бронзы, алюминия, железа и стали; полые кабели

Изоляционные трубки и трубки из стальной брони со вспомогательным оборудованием

6744

AKTIENGESELLSCHAFT

R. & E. HUBER

Schweizerische Kabel-, Draht- und Gummiwerke

PFAFFIKON-ZÜRICH (Швейцария)

Поставщик Технопромимпорта, Москва

Специальность:

прецизионная эмалированная медная проволока,

обтянутая шелком медная и эмалированная проволока,

проволока для сопротивлений, а именно

КОНСТАНТАН

МАНГАНИН

НИКЕЛИН

НИХРОМ

эмалированная и обтянутая шелком

высокочастотные провода для

РАДИОТЕХНИКИ

50-летняя фабричная практика является гарантией высокого качества производимых изделий

Образцы и технические данные в Вашем распоряжении

6743

Dr. Alb. Lessing

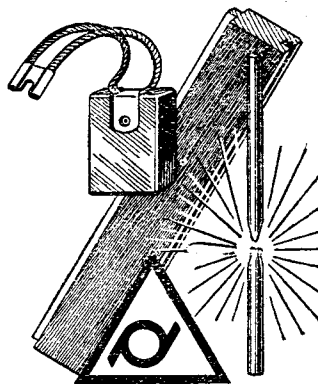
Nürnberg O, Schloßstraße 24

Германия

Основ. в 1872 г.

Щетки

для всевозможных электрических машин из графита, а также из чистого и облагороженного угля или из смеси угля с металлическим порошком.



угольные пластины

с канавкой и пружиной или без таковых,

угольные электроды

для электрической сварки,

трубы, тигели и

уплотняющие кольца из угля,

все сорта

осветительных углей

6745



ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1938 год

НА ЖУРНАЛ

„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

Год издания 59-й



12 номеров в год

**ЖУРНАЛ ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ, НАРКОМАТА МАШИНОСТРОЕНИЯ,
ГЛАВЭНЕРГО НКТП И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АКАДЕМИИ НАУК
СССР**

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным научно-техническим органом, рассчитанным на инженеров и научных работников электропромышленности и электрохозяйства.

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА

Теоретические проблемы электротехники сильных токов. Техно-экономические обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Проблемы электрификации СССР в третьей пятилетке. Основные вопросы электромашино- и аппаратостроения, техники высоких напряжений, электронной техники, автоматизации, электронизмерений и техники безопасности в электрохозяйстве. Основные вопросы проектирования и эксплуатации электросистем, экономии электроэнергии, электрификации промышленности, транспорта, сельского хозяйства и быта СССР. Научно-исследовательские работы институтов и заводов в области электротехники сильных токов. Работы энергетических съездов и конференций. Основные вопросы подготовки кадров (программы, учебники). Нормы в электропромышленности и электрохозяйстве. Очерки из истории электротехники. Библиография вновь выходящей электротехнической литературы. Рефераты статей из иностранных электротехнических журналов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА: на год — 33 руб.

на 6 мес. — 16 р. 50 к.

на 3 мес. — 8 р. 25 к.

Цена отдельного № 2 р. 75 к.

ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛЫ И ДЕНЬГИ НАПРАВЛЯТЬ ПО АДРЕСУ:

Москва 31, Пушечная, д. 9, Главной к-ре «Техпериодики» ОНТИ

Подписка также принимается отделениями и уполномоченными «Техпериодики», магазинами и киосками «Книгосбыта» ОНТИ, КОГИЗ и почтой.

ПРОМЫСЛОВО-КООПЕРАТИВНОЕ ТОВАРИЩЕСТВО
„МОНТАЖПРОЕКТЭЛЕКТРО“

ПРИНИМАЕТ ЗАКАЗЫ по Ленинграду и области на производство работ
ПО СИЛОВОМУ И ОСВЕТИТЕЛЬНОМУ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЮ

фабрик, заводов, домов культуры, клубов, институтов, торговых и сельскохозяйственных предприятий по изготовлению и монтажу распределительных устройств и всевозможной электроаппаратуры, по реконструированию и ремонту электродвигателей, генераторов и динамомашин

„МОНТАЖПРОЕКТЭЛЕКТРО“ РАСПОЛАГАЕТ:

1. МОНТАЖНЫМ ОТДЕЛОМ — ул. Декабристов, д. 13. Тел. 2-20-67
2. ОБМОТОЧНЫМ ЦЕХОМ — канал Грибоедова, д. 46. Тел. 6-40-51
3. ЦЕХОМ ЭЛЕКТРОАППАРАТУРЫ — Тамбовская ул., д. 46

Заказы и запросы направлять по адресу: Ленинград 1, ул. Декабристов, дом № 13 **П р а в л е н и е „МОНТАЖПРОЕКТЭЛЕКТРО“**



ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1938 год на журналы

ОБЪЕДИНЕННОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА (О Н Т И)

БЮЛЛЕТЕНЬ ЗАВОДА „ДИНАМО“

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 12 руб., на 6 мес. — 6 руб., на 3 мес. — 3 руб.

ВЕСТНИК КОЧЕГАРА

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 6 руб., на 6 мес. — 3 руб., на 3 мес. — 1 р. 50 к.

ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 30 руб., на 6 мес. — 15 руб., на 3 мес. — 7 р. 50 к.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 30 руб., на 6 мес. — 15 руб., на 3 мес. — 7 р. 50 к.

Известия электропромышленности слабого тока

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 24 руб., на 6 мес. — 12 руб., на 3 мес. — 6 руб.

МАШИНИСТ

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 6 руб., на 6 мес. — 3 руб., на 3 мес. — 1 р. 50 к.

Советское котлотурбостроение

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 24 руб., на 6 мес. — 12 руб., на 3 мес. — 6 руб.

ТЕПЛО и СИЛА

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 33 руб., на 6 м. — 16 р. 50 к., на 3 м. — 8 р. 25 к.

Энергетическое обозрение вып. теплотехнический

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 21 руб., на 6 м. — 10 р. 50 к., на 3 м. — 5 р. 25 к.

Энергетическое обозрение вып. электротехнический

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 21 руб., на 6 мес. — 10 р. 50 к., на 3 м. — 5 р. 25 к.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 33 руб., на 6 мес. — 16 р. 50 к., на 3 м. — 8 р. 25 к.

Электрические станции

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 24 руб., на 6 мес. — 12 руб., на 3 мес. — 6 руб.

ЭЛЕКТРОМОНТЕР

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 12 руб., на 6 мес. — 6 руб., на 3 мес. — 3 руб.

ЭНЕРГЕТИКА

4 номера в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 18 руб., на 6 мес. — 9 руб.

СВЕТОТЕХНИКА

12 номеров в год

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год — 18 руб., на 6 мес. — 9 руб., на 3 м. — 4 р. 50 к.

ПОДПИСКУ и ДЕНЬГИ направлять по адресу: Москва 31, Пушечная 9. Главная контора „Техпериодика“. Подписка также принимается: отделениями и уполномоченными „Техпериодики“, магазинами и киосками Книгосбыта ОНТИ и всюду на почте.

АДРЕСА ОТДЕЛЕНИЙ:

Ленинград, проспект 25 Октября, внутри Гостиного двора, пом. 100;
Киев, Горовица 38, магазин 1;
Харьков, Суздальские ряды 32/33;
Горький, Октябрьская ул. 25, дом ИТР;

Свердловск, Дом промышленности, 4 й этаж, 2-й блок, ком. 46;
Днепропетровск, проспект Карла Маркса 84;
Ростов-на-Д., ул. Энгельса 79;
Новосибирск, Красный проспект 17;
Сталино-Донбасс, 8-я линия 28;
Тбилиси, проспект Плеханова 88;
Одесса, ул. Ленина 2.