



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

5

1 9 3 7

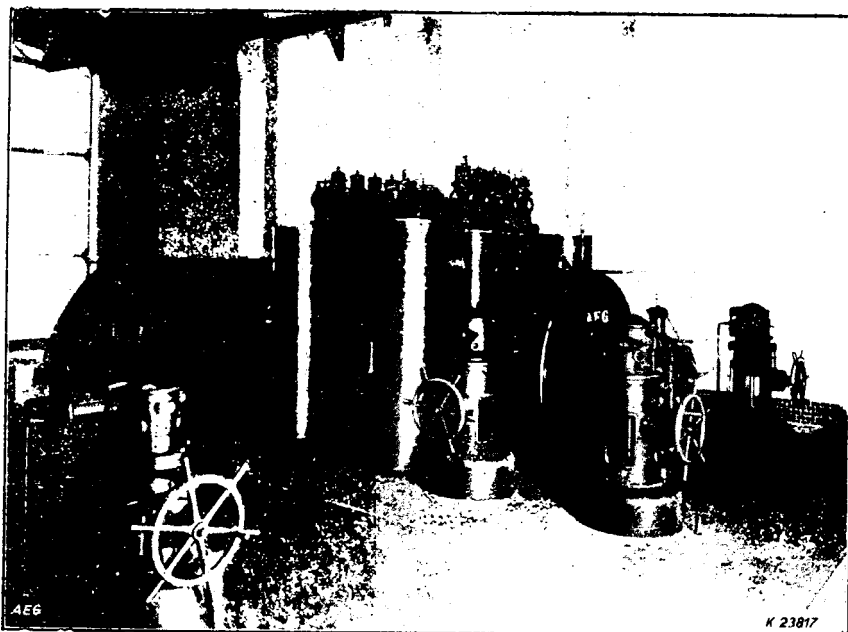
ОБЪЕДИНЕН
ТЕХНИЧЕСКОЕ



НОЕ НАУЧНО-
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru



AEG

поставлено более

17 000
паровых турбин

общей мощностью в

15 500 000 кв.

в том числе 60 турбин высокого давления от 50 до 120 атм. общей мощностью в 200 000 кв.

В СССР

находятся более

300 турбин

нашего изготовления.

Наибольшая в мире турбина пропускной способностью в 260 т. в ч. с отъемом и противодавлением, мощностью в 20 000 кв.

Allgemeine Elektrizitäts - Gesellschaft

Abt. Rußland — Berlin NW 40

6728

Чистое железо
АРМКО

Трансформаторная
сталь АРМКО

Специальные стали

рекомендуется для телефонных и радио-аппаратов. Благодаря своей исключительной чистоте—сумма пяти элементов: углерода, марганца, кремния, серы и фосфора ниже 0,15% — железо АРМКО имеет необыкновенно высокую магнитную проницаемость. Поставляется в виде лент горячей и холодной прокатки, в виде круглых и квадратных брусьев, а также в виде профильного железа.

Производство включает все сорта трансформаторной листовой стали. Обращаем Ваше особое внимание на нашу марку "Transcor 5" с потерей в 1 watt при $B=10.000$ и 50 периодах. Листы марки "Transcor 5" имеют ровную и гладкую поверхность и поддаются легко штамповке.

Нержавеющие стали для всех целей. Огнестойкие стали марки "Сикромаль". В особенности рекомендуем цельнотянутые легированные трубы (до 1500 мм. диаметром) для пароперегревателей, воздухонагревателей, труб для чистки котлов и т. д.



ARMCO

6, Avenue Gourgaud, 6 - PARIS (XVII^e) Франция

В СОЕДИН. ШТАТАХ:

The ARMCO International Corp.
Middletown, Ohio и
21 West Street, NEW YORK City

В ГЕРМАНИИ:

ARMCO-EISEN G.m.b.H.
KÖLN a/Rh., Hochhaus

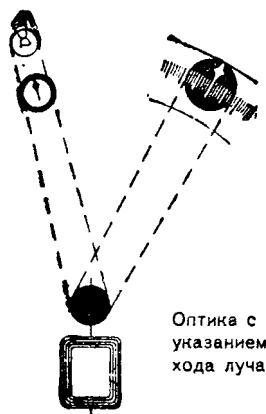
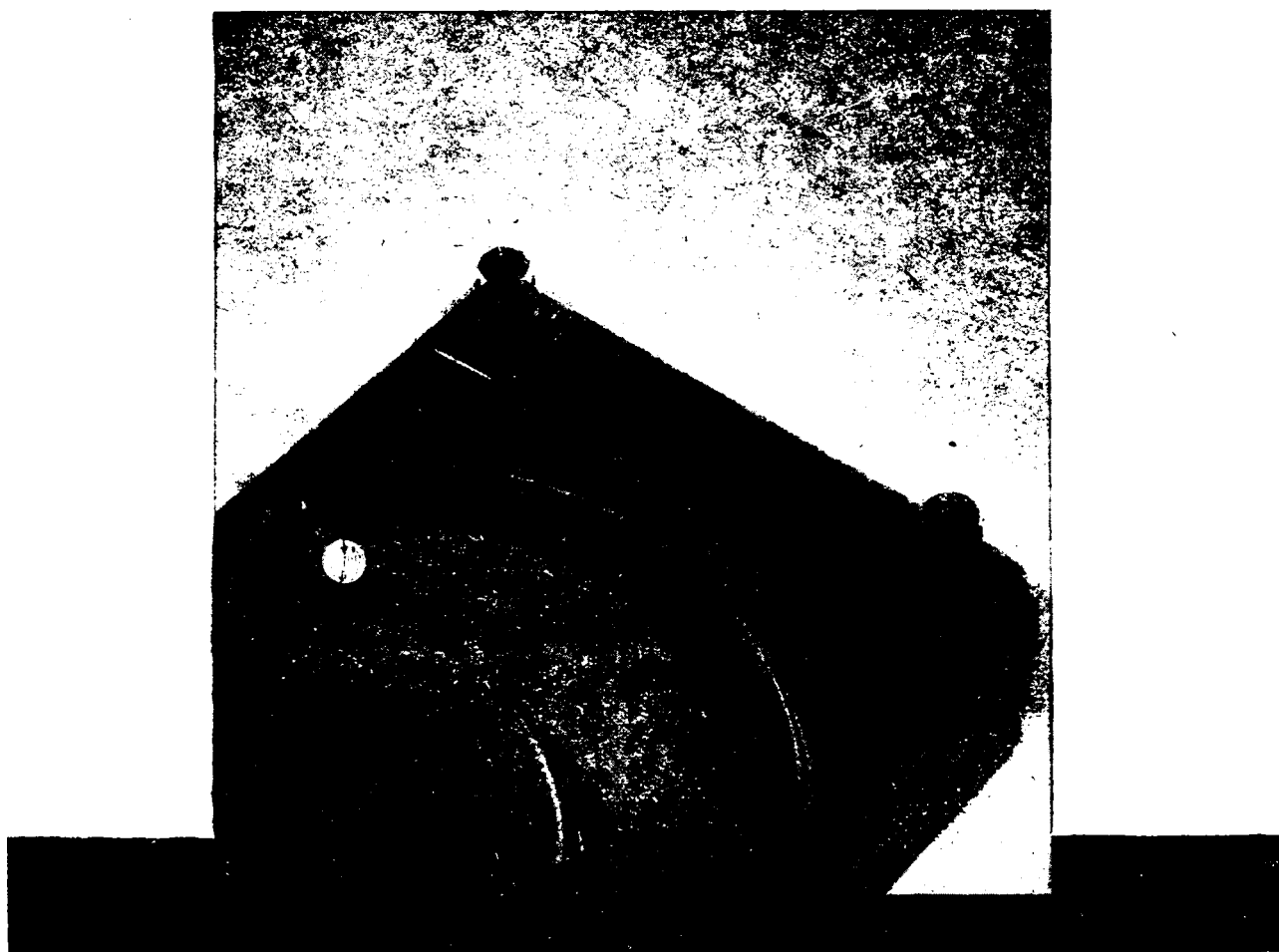
В АНГЛИИ:

ARMCO Ltd
Thames House, Millbank
LONDON, S.W.1.

В ИТАЛИИ:

ARMCO S.A.
Via S.Lorenzo 4. GENOVA

ГАЛЬВАНОМЕТРЫ СО СВЕТОВОЙ СТРЕЛКОЙ



Измеритель имеет незначительную массу, ввиду чего эти приборы чрезвычайно чувствительны. По шкале скользит только тень стрелки в освещенном поле и быстро устанавливается на измеряемой величине. Ошибки отсчета из-за паралакса невозможны. Отсчет ясен как в темноте, так и при дневном свете. Чувствительность до $0,01 \times 10^{-6}$ амп. и 0,01 милливольт.

С запросами просим обращаться по адресу:

6731

SIEMENS & HALSKE A.G. / TECHNISCHES BÜRO OST / BERLIN-SIEMENSSTADT



Ваши междугородные линии связи перегружены?

Если да, увеличьте пропускную способность Ваших линий установкой добавочных связей, высокой частоты, сист. "СТАНДАРТ" без установки лишних проводов.

Сист. "СТАНДАРТ" путем применения волновых спектров выше звуковой частоты дает возможность осуществлять добавочную связь по существующим проводам.

Однократные и многократные телефонные и телеграфные системы "СТАНДАРТ" находятся в эксплуатации во всех частях света.

Разрешите нам составить проект для удовлетворения Ваших нужд в этом отношении.

Standard Telephones and Cables Limited

NORTH WOOLWICH, LONDON, E. 16, Англия telegrams: Westophone, London.

Отделения в КАИРЕ, КАЛЬКУТТЕ, ДУБЛИНЕ и ИОГАННЕСБУРГЕ

ПОСТОЯННЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ В :

АНГЛО-ЕГИПЕТСКОМ СУДАНЕ

БОМБЕЕ

БУРМЕ

ИРАКЕ

КЕНИИ

МАДРАССЕ

МАЛАЕ

НАТАЛЕ

ПАЛЕСТИНЕ

СИАМЕ и ЦЕЙЛОНЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ГОД ИЗДАНИЯ 58-й

5

1937

МАРТ

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГОПРОМА, ГЛАВЭНЕРГО НКТП И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АКАДЕМИИ НАУК СССР
Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67. Энергетический ин-т, I этаж, комн. 144; тел. В 5-32-79
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Матвеев А. Л. — Стахановские методы работы и электропотребление промышленности . .	1
Залышкин М. Д. — Новые схемы коммутации и распределительные устройства мощ- ных электрических станций и подстанций	7
Совалов С. А. — Параллельная работа трехобмоточных трансформаторов с различными ха- рактеристиками	16
Хрущов В. М. — Расчет ударных и переходных токов к. з. методом спрямленной внешней характеристики	20
Друскина Л. С. и Красилов А. В. — Работа тиратронов на повышенных частотах	25
Никитин В. П. и Рабинович И. Я. — Сварочная дуга переменного тока	31
Квитнер Ф. А. — Проводимость твердых диэлектриков в сильных электрических полях . .	35
Соколов С. В. — Реле для автоматического защитного выключения при замыкании на корпус	38
Бегунов И. Н. — Телеуправление освещением улиц	41
На обложке — Импульсный генератор на 3 000 000 V вновь оборудованный во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ)	

Стахановские методы работы и электропотребление промышленности¹

А. Л. Матвеев

Харьковский электротехнический институт

СТАХАНОВСКАЯ организация производственных процессов оказала большое влияние на электропотребление промышленности. Теперь уже нельзя пользоваться старыми нормативами электропотребления, опровергнутыми действительностью, созданной лучшими стахановцами, цехами предприятиями.

Изучение динамики энергетических показателей промышленных предприятий является одной из насущных и неотложных задач энергетики. Однако, несмотря на бесспорность влияния стахановской организации производственных процессов на характер электропотребления, количественной оценки этого фактора до сих пор сколько-нибудь обоснованном и систематизированном виде все еще нет.

Эта статья ставит своей задачей установить порядок количественных изменений показателей потребления энергии под влиянием стахановского

движения в промышленности и обосновать метод исследования их.

В первую очередь подлежат изучению следующие основные показатели:

- 1) коэффициент одновременной загрузки производственного (станкового) оборудования;
- 2) удельное потребление электроэнергии — расход энергии на единицу выпущенной продукции;
- 3) сменный график нагрузки предприятия.

Харьковский электротехнический институт² поставил в одном из цехов Харьковского электромашиностроительного завода экспериментальную работу, которой предшествовал теоретический анализ, произведенный автором по определению коэффициентов стахановского изменения указанных выше показателей. В процессе опытов в цехе производились замеры потребляемой электроэнергии при помощи регистрирующих ваттметров, включаемых в магистрали низковольтных фидеров и в

¹ В экспериментальной и расчетной работе принимали участие студенты ХЭТИ И. А. Бухштаб и Д. С. Колобоков

² При участии харьковского отделения Электропрома в изучении коэффициентов одновременной загрузки цехов,

цепи питания двигателей, обслуживающих станки. Исследованию подвергались одни и те же фидеры как в дни стахановской декады, так и в обычные рабочие дни. Равным образом производился замер потребления электроэнергии станков, обрабатывающих одни и те же детали как при стахановском методе обработки, так и при достахановских методах, воспроизводимых на время испытательного замера.

Большой интерес представляет решить сформулированную выше задачу применительно к нормальному металлообрабатывающему цеху, поэтому в качестве обследуемого объекта был выбран цех средних машин, располагающий парком разнообразных металлообрабатывающих станков.

Повышение коэффициента загрузки оборудования. Стахановская работа металлообрабатывающего станка в основном связана с повышением скорости резания, с заменой материала режущего инструмента, с изменением подачи инструмента, с введением в одновременную работу ряда инструментов, а также с уплотнением режима обработки. Все эти факторы влекут за собою повышение коэффициента загрузки станка β и уплотнение сменного графика работы станка.

И то и другое влечет за собою увеличение коэффициента одновременной загрузки станкового оборудования цеха — $\gamma = \alpha\beta$, где α — коэффициент одновременной работы всех станков.

Следует указать, что коэффициент α может и не увеличиться, а даже уменьшиться. Это обстоятельство может иметь место в тех случаях, когда коэффициент увеличения планового задания для цеха будет перекрыт стахановским коэффициентом увеличения производительности станков и установленное количество станков превысит потребное для выполнения производственного задания.

Результаты экспериментального обследования коэффициента загрузки металлообрабатывающих станков при переходе на стахановскую работу сведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	№ и тип станка	Мощность мотора, kW	Коэффициент загрузки станка β		Коэффициент изменения загрузки
			достахановский	стахановский	
1	24, токарный	4,5	0,283	0,510	1,80
2	546, фрезерный	11,0	0,332	0,368	1,10
3	3167, карусельный	29,0	0,165	0,228	1,35
4	3061	10,0	0,522	0,755	1,44
5	2785, токарный	6,8	0,525	0,525	1,00
6	195	3,7	1,270	1,020	0,80
7	195	3,7	1,200	1,470	1,22
8	3317, револьверный	4,5	0,340	0,623	1,82
9	3317	4,5	0,566	0,736	1,30
10	2986, фрезерный	6,8	0,231	0,525	2,26
11	2221, токарный	3,7	0,970	1,120	1,16

Из таблицы видно, что средневзвешенный коэффициент увеличения загрузки станков с учетом мощности последних составляет 1,28—1,30, иначе

говоря, среднее увеличение загрузки станков достигает 25—30% по отношению к достахановскому. Этот факт находит себе подтверждение в анализе суточного потребления завода ХЭМЗ за август 1936 г.; в стахановскую декаду этого месяца средний суточный максимум нагрузки по заводу превзошел средний максимум за предшествующие 15 рабочих дней того же месяца на 24%.

Это обстоятельство позволяет повысить загрузку предприятия в первой смене, несколько снижая ее во второй с тем, чтобы утренний и вечерний максимумы нагрузки энергетической системы, имеющей коммунально-промышленных потребителей, были равны. Проведение этого мероприятия снизит абсолютную величину максимальной нагрузки электросистемы, повысит использование нагрузки и установленной мощности. При современных коэффициентах мощности крупных потребителей, превышающих 0,8, уравнивание утреннего и вечернего максимумов не поставит систему перед трудностями покрытия потребности реактивной мощности и, следовательно, не вызовет никаких ухудшений работы ее.

Относительное изменение удельного потребления электрической энергии. Стахановские методы организации работы в промышленности должны повести к снижению удельного потребления. Основными предпосылками к этому являются увеличение полезной производственной загрузки станкового оборудования, а также сокращение времени, потребного для обработки одной детали.

Последнее обстоятельство влечет за собою уменьшение потерь энергии, связанных с холостым ходом станка, и тем самым снижает общий удельный расход электроэнергии. Кроме того, стахановское движение выдвигает также требование исключительно рационального использования энергии в обслуживающих производство цехах, отделах и учреждениях.

Ниже приводится элементарный математический анализ взаимосвязи факторов, влияющих на динамику удельного потребления энергии в промышленности в связи со стахановскими методами работы.

Обозначим полное потребление энергии (киловатт-часы) на единицу выпускаемой продукции при достахановской работе w , а часть этой энергии, расходуемую на производственные нужды, — ψw . Если дифференцировать далее уже только производственную часть расхода энергии, то ее можно разбить на две составляющие: 1) полезную часть производственного расхода энергии, равную $\eta\psi w$, и 2) производственные потери $(1 - \eta)\psi w$. Переходя к новому, стахановскому режиму работы предприятия или отдельного станка, необходимо учесть следующие коэффициенты: θ , учитывающий изменение полезного производственного потребления электроэнергии; A , характеризующий увеличение выпуска продукции в единицу времени (при том же производственном оборудовании), и L , который определяет изменение непроизводительной части удельного расхода энергии $(1 - \psi)w$.

При этих показателях динамика стахановского потребления электроэнергии получит следующее символическое выражение:

Таблица 2

№ станка	Вес сработанного металла kg	Время отработки одной детали min	Вес металла, сработанного в единицу времени $\frac{kg}{min}$	Коэффициенты								$S = \eta\theta + \frac{1-\eta}{A}$ Расчетный коэффициент S	Ошибка подсчета %
				опытные				приведенные					
				A	θ	η	S	A'	θ'	η'	S'		
3061	28,20	19,0	1,470	1,20	0,87	0,25	0,79	1,760	1,280	0,366	1,160	0,843	+7
3185	1,10	3,3	0,335	1,32	0,90	0,74	0,85	0,440	0,300	0,245	0,245	0,865	+2
546	6,00	16,5	0,363	1,31	0,87	0,65	0,79	0,480	0,315	0,235	0,286	0,830	+5
24	5,22	35,0	0,150	2,40	0,75	0,53	0,63	0,360	0,112	0,079	0,094	0,608	-3,5
3317	0,52	8,7	0,058	1,20	0,87	0,54	0,85	0,062	0,044	0,027	0,043	0,855	+0,5
3317	0,51	9,3	0,050	1,10	1,00	0,53	1,07	0,055	0,050	0,026	0,053	0,960	-10
195	1,13	10,0	0,113	1,50	0,77	0,57	0,75	0,170	0,090	0,070	0,090	0,722	-3,5
195	1,75	10,5	0,170	1,40	0,76	0,368	0,62	0,240	0,110	0,060	0,100	0,695	+12
Итого	—	—	2,709	—	—	—	—	3,570	2,310	1,111	2,11	—	—

$$\left[\left(\theta\eta + \frac{(1-\eta)}{A} \right) \psi + L \frac{(1-\psi)}{A} \right] w =$$

$$= w' \frac{\text{киловатт-часы}}{\text{единица продукции}}$$

Иначе говоря, коэффициент стахановского изменения удельного потребления

$$S_n = \left(\theta\eta + \frac{1-\eta}{A} \right) \psi + \frac{L}{A} (1-\psi). \quad (1)$$

Это выражение пригодно как для отдельного станка или цеха, так и для предприятия, понятно, при соответствующем определении показателей θ, A, L, η и ψ . При решении задачи, относящейся к одной станко-детали или к одному станку или к группе однородных станков, коэффициент ψ будет равен единице, так как норма потребления в этих случаях не учитывает непроизводственных расходов энергии.

Поэтому для отдельных станков выражение (1) упрощается.

$$S = \theta\eta + \frac{1-\eta}{A}$$

Полагая, что все обследованные станки находятся всегда в работе и зная количество металла, сработанного каждым станком в одну минуту, можно определить количество металла, сработанного всей группой станков за то же время. Пользуясь теми же данными, характеризующими долю участия каждого станка-детали в общей выработке группы станков или цеха, можно определить значения всех полученных опытным путем коэффициентов, приведенные к единице сработанного металла (A', η', θ', S').

В результате представляется возможным найти для данной группы станко-деталей (или по всему цеху) средневзвешенные значения тех же коэффициентов.

Пользуясь итоговыми данными табл. 2, можно определить средневзвешенные коэффициенты для данной группы станко-деталей:

$$A_{cs} = \frac{3,57}{2,709} = 1,32; \quad \theta_{cs} = \frac{2,311}{2,709} = 0,85;$$

$$\eta_{cs} = \frac{1,111}{2,709} = 0,41; \quad S_{cs} = \frac{2,11}{2,709} = 0,780.$$

Расчетное значение средневзвешенного коэффициента изменения полного удельного производственного потребления электроэнергии по рассмотренной группе станко-деталей:

$$S_{cs} = \eta_{cs} \cdot \theta_{cs} + \frac{1-\eta_{cs}}{A_{cs}} = 0,41 \cdot 0,85 + \frac{1-0,41}{1,32} = 0,79.$$

Расхождение расчетной и опытной величин составит:

$$\frac{S_{cs} p - S_{cs}}{S_{cs}} 100 = \frac{0,79 - 0,75}{0,78} 100 = 1,3\%.$$

Если в виде примера предположить, что полученные опытным путем значения коэффициентов A_{cs}, θ_{cs} и η_{cs} могут быть применены ко всему цеху в целом, и если принять, что максимум непроизводственной нагрузки по цеху составляет около 15% от общецехового максимума нагрузки, то коэффициент (S_n) полного изменения удельной нормы электропотребления может быть определен следующим образом.

Принимаем, что годовое использование максимума непроизводственных расходов электроэнергии (в основном освещение, вентиляция и теплофикация) равняется 3500 h; при использовании полного цехового максимума нагрузки 5500 h в году.

В этом случае коэффициент ψ может быть определен следующим образом:

$$\psi = 1 - \frac{0,15 \cdot 3500}{5500} = 0,91.$$

Принимаем также, что коэффициент изменения нормы непроизводственного потребления электроэнергии $L = 0,85$. Тогда полное изменение удельного потребления электроэнергии по цеху

$$S_n = \left(\theta_{cs} \cdot \eta_{cs} + \frac{1-\eta_{cs}}{A_{cs}} \right) \psi + L \frac{(1-\psi)}{A_{cs}}$$

или

$$S_n \approx \left(0,41 \cdot 0,85 + \frac{0,59}{1,32} \right) 0,91 + \frac{0,85 \cdot 0,09}{1,32} \approx 0,776.$$

Таким образом общее снижение удельного потребления электроэнергии по рассматриваемой группе станко-деталей (или по цеху) должно составлять по крайней мере 20—22,5%.

Небезынтересно будет привести сведения о динамике удельных показателей электропотребления завода ХЭМЗ за последние несколько лет (табл. 3), полученные автором в результате обработки статистических материалов завода, включая машинный, аппаратный заводы и вспо-

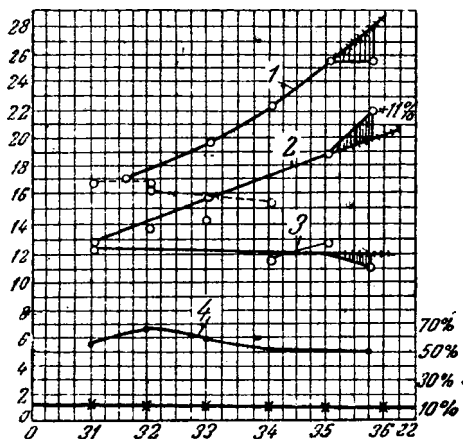


Рис. 1. Динамика удельного потребления электроэнергии (кВт·ч).

1 — на каждый киловатт выпуска; 2 — на одного рабочего в год (значения кривой умножить на 100); 3 — на 1000 руб. выпуска (значения кривой умножить на 10); 4 — доля выпуска машинного завода в процентах

могательные производства). Приведенные показатели относятся к 1931—1935 гг. полностью и к первым девяти месяцам 1936 г.

В стахановском году совершенно ясно выявилось относительное снижение удельного потребления энергии на заводе. Это говорит о том, что требование об обязательном относительном снижении расхода энергии, зафиксированное в известном постановлении СНК СССР, является своевременным и что перевыполнение предписанной нормы снижения для многих предприятий следует считать обязательным.

Таблица 3

Год	Расход электроэнергии (кВт·ч) на:			Отношение продукции машинного завода ко всему выпуску продукции в %
	1000 руб. выпуска продукции	1 kW выпуска машин	1 рабочего в год	
1931	122	16,9	1230	55,0
1932	141	16,8	1160	62,0
1933	143	19,6	1580	59,0
1934	117	22,2	1570	52,0
1935	129	25,7	1900	50,0
1936*	110	25,6	1672 (2200)	50,5

* За 9 мес. 1936 г.

На рис. 1 данные табл. 3 представлены в виде кривых. Приведенная на рисунке кривая 4 динамики доли машинного завода в общей валовой продукции позволяет откорректировать характеристику 3 удельных расходов на 1000 руб. выпуска. Как видно, удельный расход на 1000 руб. стоимости валовой продукции является весьма

устойчивым, если принять во внимание результаты тех лет, когда продукция машинного завода составляла один и тот же процент от общего выпуска завода, т. е. 50—52.

Для 1936 г. на рисунке показаны точки, получающиеся экстраполяцией кривых, и точки, построенные по фактическому потреблению энергии за девять месяцев этого года. Сопоставление их позволяет определить относительное изменение удельного потребления, имевшее место в результате перехода предприятия на стахановскую работу. Как видно, стахановское движение на заводе ХЭМЗ за девять месяцев дало возможность снизить: 1) удельный расход на 1000 руб. выпуска машин также приблизительно на 9%; 2) удельный расход на 1 kW выпуска машин также приблизительно на 9% и 3) повысить этот расход для одного среднесписочного рабочего на величину порядка 11%.

Ранее было показано, что опытно установленный средневзвешенный коэффициент уменьшения расхода энергии для станков цеха М-4 $S_{св} = 0,7$. Таким образом, статистически обоснованное снижение удельного расхода электроэнергии (9%) значительно отстает от возможного. Надо полагать, что при переходе завода сплошь на стахановскую работу (в течение всего года и по всем цехам) намечаемая расчетом цифра снижения 22% — будет заводом не только достигнута, но и перекрыта, о чем и следует ставить требование перед заводским руководством и перед заводской общественностью.

Возможное уплотнение графика нагрузки
Факторами, влияющими на годовое использование максимальной нагрузки промышленных предприятий T , являются: 1) уплотненность работы, характеризующая степень заполнения графика каждой смены по сравнению с теоретическим графиком 100% заполнения; 2) сменность, т. е. соотношение между максимальными нагрузками первой, второй и третьей смены предприятия

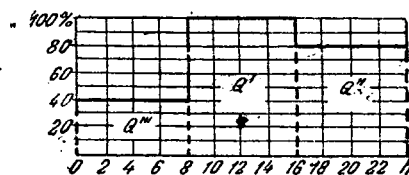


Рис. 2. Теоретический суточный график по сменам

На показатель T влияет также число смен и продолжительность их в часах. Для конкретности мы в дальнейшем будем исходить из трех смен 7—h продолжительности рабочего дня и восьми часовой смены.

Введем обозначения для коэффициентов загрузки смен в долях утреннего зимнего максимума первой смены.

Зимние смены: первая — 1 , вторая и третья — x_2 и x_3 ; летние смены: первая — z_1 , вторая и третья — x_1 и u_1 .

Равным образом коэффициенты заполнения зимних смен обозначим: первой — k_1 ; второй и третьей — k_2 и k_3 ; первой летней — k_4 , второй и третьей —

k'' . Графически (рис. 2 и 3) коэффициент заполнения смены следует понимать, как отношение площади q , занимаемой фактическим сменным графиком, к площади сменного теоретического графика Q :

$$k'_3 = \frac{q'_3}{Q'_3}; \quad k''_3 = \frac{q''_3}{Q''_3}; \quad k'''_3 = \frac{q'''_3}{Q'''_3};$$

$$k'_A = \frac{q'_A}{Q'_A}; \quad k''_A = \frac{q''_A}{Q''_A}; \quad k'''_A = \frac{q'''_A}{Q'''_A}.$$

При принятых обозначениях годовое число асов использования максимума нагрузки можно определить, пользуясь следующим выражением:

$$T = [(k'_3 + x_3 k''_3 + y_3 k'''_3) + (z_A k'_A + x_A k''_A + y_A k'''_A)] \frac{8 \cdot 355}{2} \mu_1 \mu_2 h. \quad (2)$$

Коэффициент μ_1 учитывает непрямолинейный переход от зимнего графика к летнему. Практически для средней группы промышленных предприятий несезонного значения и имеющих малую составляющую осветительной нагрузки этот коэффициент колеблется от 0,95 до 0,90. Коэффициент учитывает фактическое число дней работы предприятия в году, а также степень загрузки отдельных цехов предприятия в выходные и праздничные дни.

Если для обычного рабочего среднего (зимне-летнего) дня обозначить выражение

$$0,5 [(k'_3 + x_3 k''_3 + y_3 k'''_3) + (z_A k'_A + x_A k''_A + y_A k'''_A)] = \beta_p \quad (3)$$

по аналогии для среднего (зимне-летнего) выходного дня

$$0,5 [(z_{3\beta} k'_{3\beta} + x_{3\beta} k''_{3\beta} + y_{3\beta} k'''_{3\beta}) + (z_{A\beta} k'_{A\beta} + x_{A\beta} k''_{A\beta} + y_{A\beta} k'''_{A\beta})] = \beta_{\beta} \quad (4)$$

для праздничного дня

$$z_{np} k'_{np} + x_{np} k''_{np} + y_{np} k'''_{np} = \beta_n \quad (5)$$

коэффициент μ_2 можно определить следующим образом:

$$\mu_2 = \frac{300\beta_p + 60\beta_{\beta} + 5\beta_n}{365\beta_p} \quad (6)$$

При определении β_n для праздничных дней мы или нецелесообразным разбить их на зимние и летние дни.

Коэффициент μ_2 колеблется от 0,85 (для предприятий, совсем не работающих в выходные и праздничные дни) до 0,98 (для предприятий, работающих все выходные дни с почти полной нагрузкой цехов).

Присвоим коэффициентам сменности x , y и z значения сменного графика k' , k'' , k''' , относясь к существующему режиму работы предприятия, индекс s , а тем же коэффициентам, соответствующим новому режиму работы его, — индекс n . Тогда коэффициент изменения числа часов годового использования максимальной нагрузки предприятия K_0 может быть определен

При наличии на предприятии характерных суточных графиков нагрузки зимних и летних рабочих, выходных и праздничных дней выражение (7) позволяет определить изменение годового использования максимальной нагрузки, создаваемое стахановской работой предприятия.

Для группы предприятий, являющейся характерной для промышленности, территориально

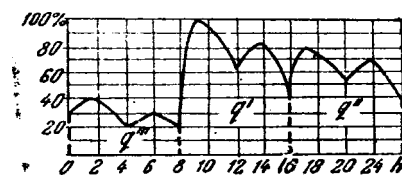


Рис. 3. Фактический график по сменам

расположенной в пределах энергетических систем, снабжающих крупные населенные центры, выражение (7) дает возможность на основании средних данных дать примерное определение коэффициента K_0 .

При этом достаточно ориентироваться на средние данные, характеризующие указанную категорию потребителей энергии, работающих при средней сменности: $1 + 0,85 (0,9) + 0,4$.

Анализ возможных средних, для работающей (при только что указанной сменности) промышленности соотношений между летним и зимним максимумами дает следующие³ коэффициенты z , x и y (табл. 4).

Таблица 4

	Существующий график		Новый график	
	зимний	летний	зимний	летний
z	1	0,9	1	0,95—0,92
x	1	0,9	1	1
y	1	1	1	1

Равным образом для той же категории промышленности достижимые коэффициенты заполнения сменных теоретических графиков могут быть приняты в пределах данных, приведенных в табл. 5³.

В результате выражение (7) упростится и примет следующий вид:

$$K_0 \approx 1,15 \frac{1 + 1,02x_{нз} + 1,03y_{нз}}{1 + 1,09x_{сз} + 0,85y_{сз}} \quad (7a)$$

Полученное выражение позволяет сделать следующий вывод: стахановская работа промышленных предприятий влечет за

³ Обоснование приведенных коэффициентов дано автором в Сборнике научно-технических статей ХЭТИ № 4 в статье «Влияние стахановских методов работы в промышленности на использование мощности электрических систем».

$$K_0 = \frac{(k'_{нз} + x_{нз} k''_{нз} + y_{нз} k'''_{нз}) + (z_{нл} k'_{нл} + x_{нл} k''_{нл} + y_{нл} k'''_{нл})}{(k'_{сз} + x_{сз} k''_{сз} + y_{сз} k'''_{сз}) + (z_{сл} k'_{сл} + x_{сл} k''_{сл} + y_{сл} k'''_{сл})} \quad (7)$$

Таблица 5

	Существующий график		Новый график	
	зимний	летний	зимний	летний
k'	0,78	0,635	0,87 (0,83)	0,95
k''	0,84	0,88	0,95 (0,87)	0,90
k'''	0,75	0,55	0,97 (0,90)	0,80

собой значительное увеличение годового использования максимальной нагрузки. Это увеличение при сохранении существующего соотношения загрузки смен ориентировочно должно составлять не менее 15—16% от существующего годового использования максимальных нагрузок.

Ошибочно думать, что уплотнение годового потребления энергии может быть достигнуто сразу же после того, как предприятие перейдет на стахановские методы организации производственного процесса. Изучение опытных данных, характеризующих электропотребление одного из крупных металлообрабатывающих заводов (с серийным, но весьма разнообразным производством), позволило автору установить, что в течение первого года стахановской работы предприятия годового график нагрузки при сохранении прежнего коэффициента сменности уплотнился приблизительно на 3%. Нужно отметить, что это уплотнение получилось естественным путем без специальной заботы о том со стороны заводского руководства. Естественно, что при уделении специального внимания вопросу более равномерного заполнения смены ежегодное (в течение ближайших лет) уплотнение графика может и должно достигать значительно большей величины.

Специальное изучение динамики потребления электроэнергии на том же заводе, поставленное дифференцированно по отдельным дням месяцев и года, показало, что завод имеет полную возможность добиться дополнительного (сверх 3%, отмеченных выше) уплотнения потребления энергии, работая при той же средней сменности

($1 + 0,9 + 0,45$), что и теперь⁴. При этом максимальное заполнение сменных графиков не превышает того заполнения, которое уже было достигнуто заводом в лучший стахановский день при сохранении нормального коэффициента сменности.

Так как сменность работы лежит в пределах принятого ранее при определении коэффициента K_0 , выражение (7а) может быть использовано для определения достижимого при стахановской работе уплотнения годового графика этого предприятия:

$$K_0 = 1,15 \frac{1 + 1,02 \cdot 0,9 + 1,03 \cdot 0,45}{1 + 1,09 \cdot 0,9 + 0,85 \cdot 0,45} = 1,16.$$

Произведенная проверка, таким образом, с достаточной четкостью подтверждает применимость выражения (7а) для средней группы промышленности и убеждает в том, что стахановские методы работы в промышленности должны дать значительное уплотнение годового графика этой категории потребителей без какого бы то ни было увеличения загрузки второй и третьей смены.

Возможность столь большого уплотнения годового графика использования электроэнергии промышленности имеет огромное значение для всего энергетического хозяйства СССР, так как оно позволяет в лучшей степени использовать установленную уже на электростанциях мощность, а при вводе в строй новых мощностей использовать их при лучших показателях, обращая эти мощности на покрытие потребности более широкого круга потребителей.

В заключение выскажем пожелание, чтобы дополнить к постановлению СНК СССР от 1 октября 1936 г. о снижении удельных норм электропотребления в промышленности было вынесено постановление об обязательном для промышленных предприятий ежегодном (в течение ближайших лет) уплотнении годовых графиков потребления электроэнергии. На настоятельную необходимость в таком постановлении указывают значительные колебания суточного потребления электроэнергии даже на крупных предприятиях.

⁴ Подробно см. «Энергетика» № 4, 1936.

Новые схемы коммутации и распределительные устройства мощных электрических станций и подстанций¹

NEW DIAGRAMS OF CONNECTION AND NEW SWITCHGEAR ARRANGEMENTS FOR LARGE ELECTRIC STATIONS AND SUBSTATIONS

М. Д. Залышкин
Теплоэлектропроект

МОЩНОЕ развитие электрических систем Союза и большое значение бесперебойности электроснабжения промышленности, в особенности в связи развернувшимся стахановским движением, поставили перед проектированием и эксплуатацией энергоустановок вопросы обеспечения безаварийной работы.

В связи с этим подверглись, с одной стороны, пересмотру основные принципы проектирования станций и, с другой, поставлен вопрос о необходимости внедрения новейшей техники в проектирование энергоустановок.

Прежде всего подвергнуты критике схемы коммутации станций и подстанций и конструкции распределительных устройств. Поводом к пересмотру применяемых решений послужило большое количество аварий в различных частях электрических установок, вызывающих иногда серьезные расстройства работы крупных энергетических систем и болезненно отражающихся на правильной работе промышленных предприятий.

Вопросу статистики аварий в энергосистемах Союза, к сожалению, уделяется недостаточное внимание. Материал по этому вопросу не изучается в должной степени. Из имевших место на электрических установках аварий особый интерес представляют те из них, которые связаны с выключением сборных шин, а следовательно, с полным или частичным перерывом электроснабжения. Из общего количества аварий в пределах станций и подстанций Главэнерго, как показывает аварийная статистика 1935 г., весьма большой процент падает именно на этого рода аварии.

Следует отметить, что большая часть таких аварий вызвана выключением разъединителей подрузкой, что может быть устранено применением блокировок. Значительное количество аварий обусловлено применением бакелитовых втулок. Часть аварий вызвана несоответствием параметров токов к. з. Значительная часть из последних аварий может быть также устранена за счет улучшения качества аппаратуры и правильного ее выбора.

Но все же, согласно той же статистике, в электрических установках наблюдается целый ряд аварий на шинах, возможность возникновения которых нельзя устранить только применением блокировок и правильным выбором аппаратуры. При возникновении их бесперебойность электроснабжения может быть сохранена лишь путем изменения применяемых в Союзе схем коммутации.

По материалам, проработанным в электротехническом отделе Теплоэлектропроекта и доложенным на партийно-технической конференции Теплоэлектропроекта в 1936 г. в порядке обсуждения. Ред.

Из опубликованных в Бюллетене Мосэнерго² материалов следует, что за 4 года (1932—1935) на шинах 110-kV системы Мосэнерго произошло 50 аварий, вызвавших недоотпуск 1200 MWh энергии. При этом за один 1935 г. на шинах 110 kV произошло 17 аварий. Если к этому прибавить аварии в системах с напряжением 35 kV и ниже, то количество аварий на шинах значительно возрастет.

Анализ аварий показывает, что применение принятых в настоящее время европейских схем коммутации с одним масляным выключателем на фидер или агрегат не гарантирует необходимой бесперебойности электроснабжения. Избежать полную потерю источников питания возможно лишь путем постоянной работы обеих систем сборных шин, к которым через два масляных выключателя присоединяются питающие агрегаты и фидера.

Европейская схема коммутации. В настоящее время на электрических установках Союза, как правило, применяется европейская схема коммутации с одним масляным выключателем на фидер и развилкой из разъединителей на обе системы шин (рис. 1).

В европейской схеме, по самому принципу коммутации, работа производится на одной системе шин; вторая система является резервной или трансферной. Эта схема имеет следующие недостатки:

1. При к. з. на шинах выключается вся секция с фидерами и питающими агрегатами, что ведет к полному или частичному перерыву в электроснабжении потребителя.

2. Практически не удается осуществить быстродействующую защиту шин, так как применением дифференциальной защиты нельзя получить селективность при раздельной работе на обеих системах шин.

Использование вспомогательных контактов разъединителей является сложным и недостаточно надежным.

Применение других способов защиты не дает необходимой быстроты действия.

3. Возможны аварии с шинным разъединителем, так как он является оперативным аппаратом; это вызывает полное выключение шин. Применение блокировки между разъединителем и масляным выключателем хотя и помогает в большинстве случаев избежать эти аварии, но по своему выполнению является несколько сложным, так как в систему блокировки должен быть введен и межшинный масляный выключатель.

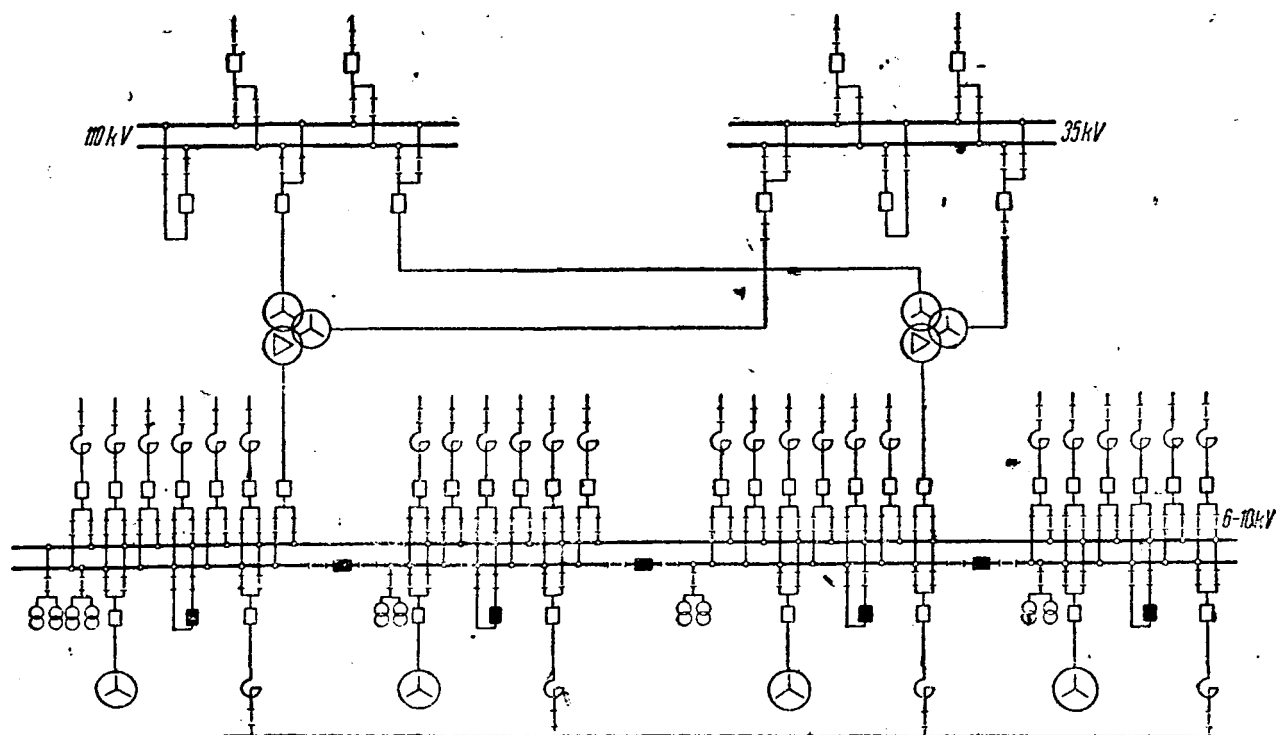


Рис. 1

4. При наличии одного выключателя на фидер невозможен осмотр и ремонт выключателя или разъединителей без выключения агрегата, что особенно болезненно отражается на установках, не имеющих соответствующего резерва в питающих агрегатах или фидерах.

5. Следует отметить также как недостаток европейской схемы сложность и длительность ликвидации аварии при переходе с одной системы шин на другую с помощью разъединителей. Значительную помощь в этом случае оказывает установка дистанционных приводов к разъединителям.

Приведенные недостатки европейской схемы заставили для крупных станций мощных электрических систем искать новые принципы коммутации с целью повышения необходимой надежности электроснабжения.

Американская схема. Основной особенностью американской схемы является приключение каждого агрегата или фидера через два масляных выключателя к двойной системе шин; при этом обе системы шин находятся в постоянной работе.

Каждый генератор через два выключателя питает электрической энергией обе системы шин с которых по двум выключателям распределяется нагрузка на каждый отходящий фидер (рис. 2).

Американская схема имеет следующие особенности:

1. Основным преимуществом ее является полная бесперебойность электроснабжения даже при коротких замыканиях на одной из систем шин; следствием к. з. в шинах является выключение выключателя этой системы и снабжение энергией потребителей продолжается от второй системы шин.

2. Секционирование сборных шин для повышения надежности электроснабжения не требуется и может быть вызвано лишь необходи-

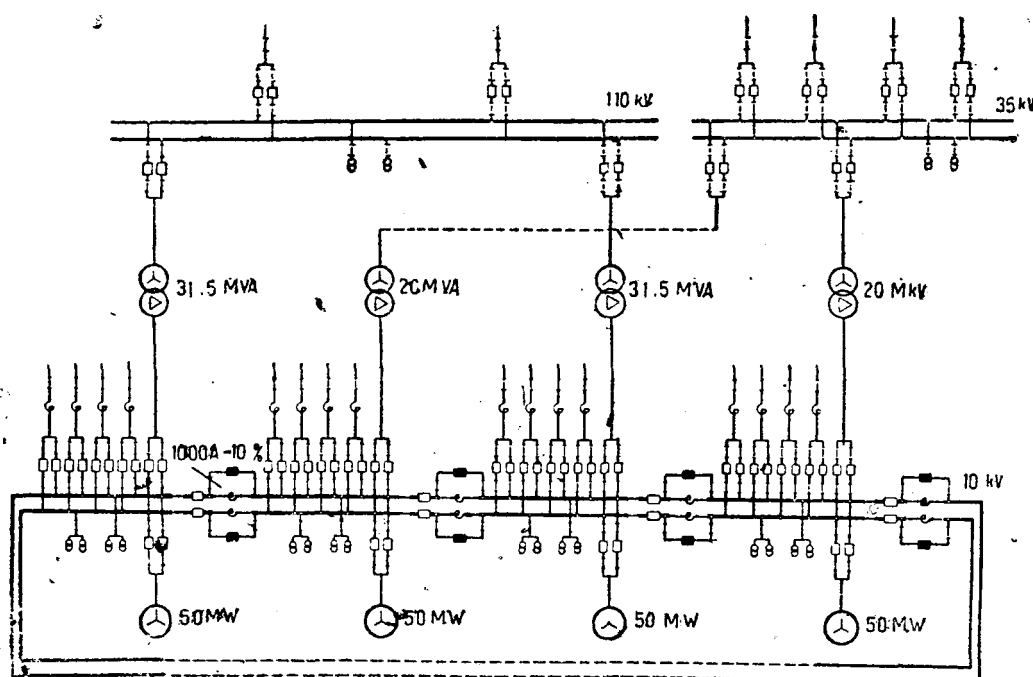


Рис. 2

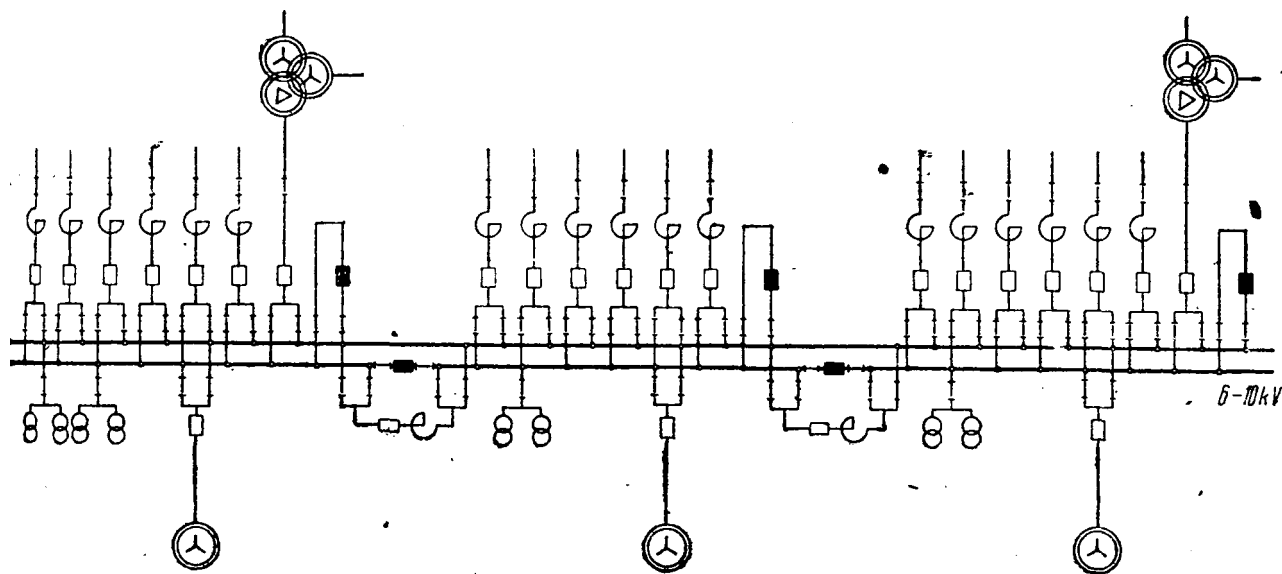


Рис. 3

стью включения между отдельными агрегатами активных сопротивлений для уменьшения токов к. з. При этом секционировать необходимо, очевидно, обе системы шин, врезая реакторы и масляные выключатели в каждую систему, как это показано на рис. 2.

3. Межшинные масляные выключатели отпают, так как обе системы постоянно связаны через два выключателя каждого фидера. Нет так же необходимости в установке выключателя обеих сторон секционного реактора.

4. Быстродействующая защита каждой системы осуществляется достаточно просто дифференциальными реле, что является весьма важным преимуществом схемы, так как позволяет значительно повысить устойчивость параллельной работы станций, а также получить устойчивую работу потребителей.

5. Разъединитель не является оперативным аппаратом, так как все переключения производятся с помощью выключателей; наличие весьма простой блокировки позволяет полностью исключить возможность от неправильных действий с разъединителем.

6. При наличии двух выключателей на фидер возможен осмотр и ремонт шинных разъединителей и выключателей без отключения фидера или питающего агрегата, так как питание цепи остается от второй системы шин.

7. Пропускная способность секционных реакторов на шинах 6—10 кВ может быть понижена значительно с таковой в европейской схеме, так как нормально передача мощности между секциями происходит через два параллельных реактора обеих систем шин. Соответственно можно повысить и реактанс реакторов с тем, чтобы мощность на шинах осталась примерно в тех же пределах, как и для европейской схемы.

8. В качестве преимущества схемы следует так же отметить возможность селективного и быстрого отключения однополюсных земляных замыканий на шинах 6—10 кВ, что при соответствующем конструктивном оформлении распределительного устройства практически позволит избежать межфазовых к. з., а следовательно, и свя-

занные с ними понижения напряжения в системе.

Сравнение схем «кольца» и «звезды». Для уменьшения токов к. з. и для повышения надежности эксплуатации на мощных электростанциях применяется секционирование сборных шин с помощью реакторов и масляных выключателей.

Мощность генераторов, присоединяемых к одной секции, лимитируется величиной токов к. з. При напряжении 6 кВ и наличии повысительных трансформаторов, связывающих станцию с мощной системой, удастся на одну секцию присоединить мощность генераторов до 25 МВт. При напряжении 10 кВ мощность генераторов одной секции можно довести до 50 МВт.

При наличии двух и трех секций на генераторном напряжении соединение их производится по «прямойной» схеме с включением реакторов и масляных выключателей между смежными секциями (рис. 3).

При дальнейшем увеличении мощности станции и появлении следующих секций в большинстве случаев на станциях Союза предусматривается переход на схему звезды (рис. 1).

При этой схеме параллельная работа агрегатов отдельных секций осуществляется через синхронизирующую шину, связанную масляными выключателями и реакторами с каждой секцией.

На станциях с генераторным напряжением при наличии высокого коэффициента мощности у потребителей необходимо иметь возможность выпуска значительных реактивных мощностей от генераторов станции в систему. Так как повысительные трансформаторы обычно не имеют на всех секциях генераторного напряжения, то выпуск реактивной мощности генераторов секций, не имеющих трансформаторов, происходит через два включенных последовательно реактора синхронизирующих шин (рис. 1).

Вследствие этого может получиться чрезмерно большая разница напряжений между смежными секциями, достигающая по произведенным расчетам величины 8—9%. Это обстоятельство при схеме звезды ограничивает возможность выпуска свободной реактивной мощности в систему.

При коммутации по схеме звезды затрудняется конструктивное оформление распределительного устройства 6—10 kV, так как для синхронизирующей шины предусматривается специальное место или в середине распределительного устройства между 1—2 и 3—4 секциями или вдоль всего здания. Это вызывает увеличение кубатуры и перерасход цветных металлов.

Применительно к американской схеме с двумя выключателями на фидер схема звезды имеет дополнительно тот недостаток, что при аварии на синхронизирующей шине или реакторе станция распадается на части, что снижает преимущества установки двух выключателей на фидер. Выполнение же двойной системы синхронизирующих шин и по конструктивным и по экономическим соображениям является неприемлемым.

Учитывая приведенные особенности схемы звезды, следует считать предпочтительным для мощных станций с количеством секций больше трех применение схемы кольца. Особенно это целесообразно в тех случаях, когда необходим выпуск значительной реактивной мощности в систему.

Схема кольца, применительно к двум выключателям на фидер, показана на рис. 2.

Преимуществом схемы кольца является, прежде всего, возможность выпуска полной реактивной мощности генераторов в систему, не выходя при этом за допускаемые пределы колебания напряжения на сборных шинах.

При выпуске одинаковой реактивной мощности в систему при схеме кольца будет иметь место меньшая сравнительно со схемой звезды разность напряжения между секциями.

Мощность секционных реакторов в схеме кольца может быть взята равной 60—70% от мощности

генераторов секции, так как питание любой секции будет происходить с двух сторон.

Конструктивное оформление схемы кольца значительно проще схемы звезды, требует меньшей кубатуры, меньшего расхода цветных металлов, следовательно, и меньших капиталовложений.

При применении американской схемы с двумя выключателями на фидер схема кольца, показанная на рис. 2, приобретает целый ряд дополнительных преимуществ и должна считаться единственно приемлемой при коммутации мощных станций на генераторном напряжении.

Следует отметить, что схема кольца имеет большие токи к. з. сравнительно со схемой звезды при прочих равных условиях.

В табл. 1 приведены токи к. з. для схем кольца и звезды для напряжений 6 и 10 kV для станций мощностью соответственно 100 и 200 MW. Мощность к. з. на шинах 110 kV при расчете принята равной 1500 MVA.

Таблица может быть отнесена как к схеме европейской, так и американской, если приведенный реактанс двух параллельно включенных секционных реакторов американской схемы будет соответствовать указанным в таблице величинам.

Из таблицы видно, что токи к. з. при схеме кольца выше, чем при схеме звезды, и превышают параметры изготавливаемой в настоящее время аппаратуры. Но при этом следует отметить, что величины токов к. з. получаются при схеме кольца вполне приемлемыми, если исходить из установки двухобмоточных трансформаторов вместо применяемых обычно на повысительных подстанциях трехобмоточных.

Кроме того, мощность повысительных трансформаторов, как правило, на крупных тэц с большой

Таблица 1

№ п/п	Мощность станций	Схема генераторного напряжения	Напряжение генератора kV	Количество, мощность и напряжение трансформаторов MVA, kV	Секционные реакторы А, %	Начальный ток к. з. kA	Мощность к. з. MVA	Принципиальные схемы
1	4×25	Звезда	6	2×31,5; 6/35/110	3000; 10%	116	675	
2	4×50	"	10	2×60; 10/35/110	3000; 10%	128	1120	
3	4×25	Кольцо	6	2×31,5; 6/55/110	2000; 10%	131	735	
4	4×50	"	10	2×31,5; 10/35/110	2000; 10%	125	1160	
5	4×50	"	10	2×60; 10/35/110	2000; 10%	144	1300	
6	4×50	"	10	2×40,5 10/110	2000; 10%	118,5	1050	
7	4×50	"	10	2×60 10/110	2000; 10%	125	1120	

дачей энергии на генераторном напряжении будут меньше мощности генераторов секции, что в свою очередь понизит токи к. з., как это видно приведенных в таблице цифр.

Применение двухобмоточных трансформаторов станциях с тремя напряжениями. При наличии станций двух повышенных напряжений 35 и 110 кВ обычно устанавливаются трехобмоточные трансформаторы. Это решение применяется во всех случаях, независимо от соотношения нагрузок на напряжениях 35 и 110 кВ, как для станций с отдачей нагрузки на генераторном напряжении (т.е.), так и для станций без шин генераторного напряжения (трес).

Сравнения вариантов установки двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов на тэц с большой отдачей энергии на генераторном напряжении показывают, что применение двухобмоточных трансформаторов для каждого из повышенных напряжений является в большинстве случаев более целесообразным.

Объясняется это следующими причинами:

1. При установке трехобмоточных трансформаторов повреждение в одной из обмоток выводит из работы все три напряжения. Особенно подвержены авариям от атмосферных перенапряжений обмотки 35 кВ. Эта зависимость основных обмоток 6 и 110 кВ от обмотки 35 кВ отпадает при применении двухобмоточных трансформаторов.

2. При двухобмоточных трансформаторах величины токов к. з. на напряжениях 35 кВ и 6—10 кВ будут меньше вследствие меньших мощностей трансформаторов.

3. При к. з. на одном из напряжений понижение напряжения на остальных получается меньше.

4. Гибкость в эксплуатации увеличивается, так как уменьшается зависимость двух высоких напряжений.

5. В ряде случаев для связи с системой 110 кВ станции возможно ограничиться установкой одного трансформатора, но из условий бесперебойного питания потребителей 35 кВ придется устанавливать два трехобмоточных трансформатора. При двухобмоточных трансформаторах возможно ограничиться установкой одного для связи с системой 110 кВ и двух трансформаторов для напряжения 35 кВ, что дает уменьшение капитальных затрат.

6. Вследствие уменьшения мощности отдельных шин при двухобмоточных трансформаторах чаще представляется возможным перейти на трехфазные трансформаторы вместо групп однофазных.

Для сравнения стоимости вариантов установки повысительных подстанций двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов произведены экономические сравнения. Результаты экономических сравнений показали, что для тэц применение двухобмоточных трансформаторов, как правило, дешевле.

В табл. 2 приведены ориентировочные подсчеты стоимости установки двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов для тэц мощностью 1 MW.

При сравнениях принималось, что на тэц мощностью 200 MW устанавливаются трехобмоточные трансформаторы мощностью 60 MVA, или двухоб-

Таблица 2

Вариант с двухобмоточными трансформаторами			
Наименование	Количество	Цена руб.	Сумма руб.
Однофазные двухобмоточные трансформаторы, мощностью 13,5 MVA, напряжением 110/10 кВ	7	70 000	490 000
Трехфазный двухобмоточный трансформатор, мощностью 20 MVA, напряжением 35/10 кВ	2	72 000	144 000
Накладные расходы: монтаж, транспорт и пр. — 20%	—	—	126 000
Итого	—	—	760 000
Ячейки 110 кВ	2	110 000	220 000
" 35	2	50 000	100 000
" 10	4	30 000	120 000
Итого	—	—	440 000
Всего	—	—	1 200 000

Вариант с трехобмоточными трансформаторами			
Однофазные трехобмоточные трансформаторы, мощностью 20 MVA, напряжением 110/35/10 кВ	7	115 000	805 000
Накладные расходы: монтаж, транспорт и пр. — 20%	—	—	160 000
Итого	—	—	965 000
Ячейки 110 кВ	2	110 000	220 000
" 35	2	50 000	100 000
" 10	2	30 000	60 000
Итого	—	—	380 000
Всего	—	—	1 345 000

моточные трансформаторы мощностью 40 MVA для напряжения 110 кВ и мощностью 20 MVA для всех 35 кВ. Стоимость подсчитана по новым ценам на оборудование.

Из приведенных подсчетов следует, что трехобмоточные трансформаторы с соответствующей аппаратурой на 145 000 руб. дороже стоимости установки двухобмоточных трансформаторов с той же суммарной мощностью. Приведенные расчеты следует считать ориентировочными, дающими порядок величины сумм.

Исходя из приведенных соображений, при проектировании повысительных подстанций тэц с тремя напряжениями, установку двухобмоточных трансформаторов следует считать предпочтительной во всех случаях, когда по экономическим расчетам получается уменьшение стоимости повысительной подстанции для этого варианта, а также расход меди в двухобмоточных трансформаторах не превышает таковой в трехобмоточных.

Для станций, отдающих всю энергию на повышенных напряжениях, без шин генераторного на-

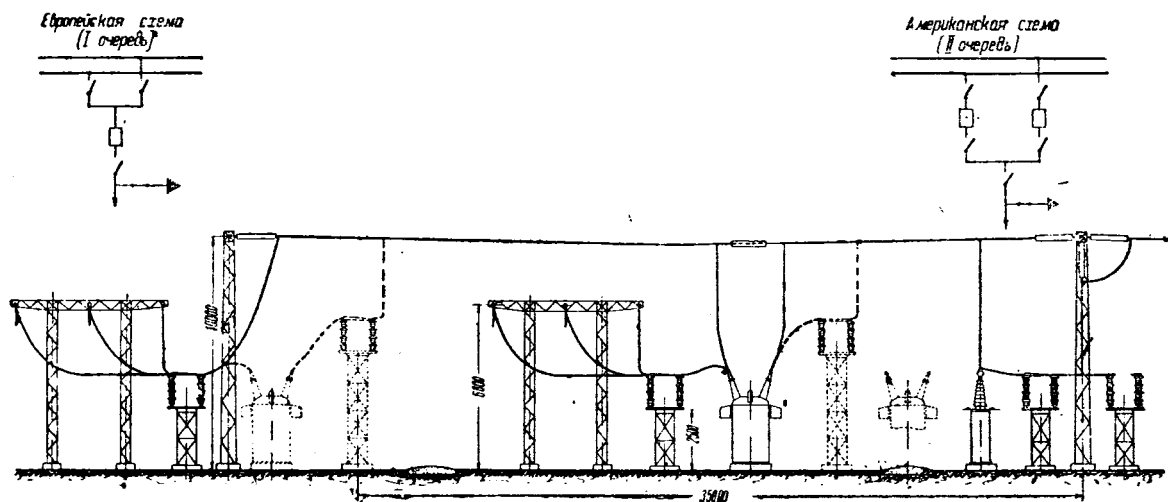


Рис. 4

пряжения, целесообразна установка трехобмоточных трансформаторов. Точно так же на пониженных подстанциях с тремя напряжениями, как правило, следует устанавливать трехобмоточные трансформаторы, так как этот вариант дает значительное уменьшение капитальных затрат сравнительно с установкой двухобмоточных трансформаторов.

Объясняется это необходимостью иметь при двухобмоточных трансформаторах двойное количество ячеек и обмоток трансформаторов на напряжении 110 kV при двух пониженных напряжениях 35 и 10 kV.

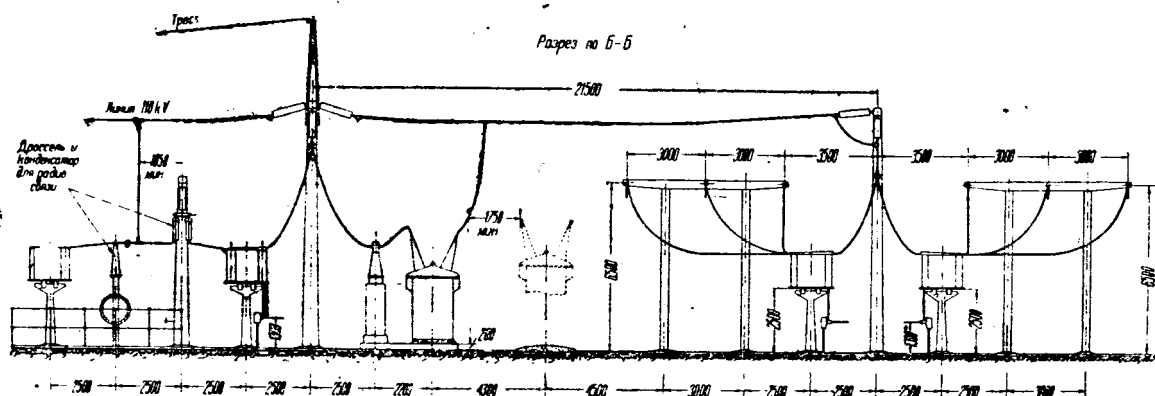
Новые конструкции распределительных устройств для американской схемы. Прежде чем сделать окончательный вывод относительно применения американской схемы с двумя выключателями на фидер, следует несколько остановиться на конструктивном оформлении этой схемы для распределительных устройств 6—10 и 35—110—220 kV.

Развитие каждой энергосистемы происходит постепенно. Отдельные точки системы, не являющиеся в первое время узловыми или опорными пунктами, могут при дальнейшем росте ее развиваться до крупных электроснабжающих установок. По-

этому очень часто установки 110—220 kV, не требующие при своем возникновении осуществления коммутации по схеме с двумя выключателями на фидер, потребуют перехода на эту схему при дальнейшем развитии системы.

Исходя из этого, электротехническим сектором Теплоэлектропроекта разработаны конструкции открытых подстанций 140—220 kV, допускающие в первую очередь установку одного выключателя на фидер и переход в дальнейшем на американскую схему путем добавления выключателя и разрядников.

Разрез по открытой подстанции 110 kV, выполненный по этому типу, показан на рис. 4. Сплошными линиями показано осуществление открытой подстанции по европейской схеме, а пунктиром — дополнительное оборудование, устанавливаемое при переходе на американскую схему коммутации. Переделок в несущих металлических конструкциях не требуется. Увеличение стоимости конструкции при первой очереди достигает около одного процента стоимости подстанции сравнительно со стоимостью обычных конструкций по европейской схеме. Как видно из рисунка, конструктивное осуществление американской схемы на напряжении



Прежде всего, здание, вследствие громоздкости и многоэтажности, требует большого расхода железобетона на перекрытия и междуфазовые перегородки, а потому оно дорого. Расход цветных металлов на ошиновку весьма значителен. Ошиновка и высоковольтная аппаратура рассчитывают-



Распределительное устройство предназначается для мощных электростанций, отдающих большое количество энергии

на напряжениях 6—10 kV; оно выполняется в кожухах и поставляется заводом комплектно с аппаратурой и ошиновкой. Вся аппаратура размещается в двух этажах. В верхнем этаже в особых кожухах располагаются шины, силовые выключатели и разъединители штепсельного типа. При ремонте силовой выключатель выкатывается из ячейки. Для возможности осмотра одной системы шин, без выкатки всех выключателей этой системы, предусмотрены разъединители между выключателями и реакторами.

В нижнем этаже располагаются реакторы и разъединители отходящих фидеров.

Шины и высоковольтная аппаратура каждой фазы размещаются в специальных кожухах, изолированных от земли. Это дает возможность осуществить весьма простую, селективную и быстродействующую защиту от замыканий на землю, путем включения между кожухом и землей трансформатора тока и амперного реле заземления. При замыкании на кожух любой из фаз земляное реле мгновенно выключает соответствующую часть установки и тем практически исключает двойные замыкания на землю. Наличие защитных кожухов на каждой фазе исключает также возможность возникновения многополюсных замыканий между фазами. Как следствие этого может быть поставлен вопрос о выборе шин и аппаратуры фидеров по пониженным параметрам, без учета полной мощности к. з. до реактора. Следует указать, что выпускаемые заводом «Электроаппарат» масляные выключатели типа МГГ и МГФ являются слишком громоздкими для компактных распределительных устройств и должны быть заменены новыми, более компактными типами безмасляных выключателей.

Распределительные устройства должны быть пыленепроницаемыми и безопасными в пожарном отношении.

Описанный тип распределительного устройства

имеет следующие преимущества: комплектная поставка с завода со всей аппаратурой и ошиновкой позволяет улучшить качество монтажа, так как на долю строительства остается лишь сборка на месте готовых частей. Строительная часть здания значительно упрощается, кубатура уменьшается примерно в 2 раза, что значительно удешевляет стоимость здания. Ускоряется постройка и монтаж на месте распределительного устройства. Вследствие компактности получается малый расход цветных металлов на ошиновку.

Перед заводами Союза стоит задача по разработке удовлетворяющего всем требованиям эксплуатации компактного распределительного устройства для мощных станций.

Технико-экономические сравнения. Сравнение стоимости открытых подстанций 35—110 kV с европейской и американской схемами коммутации проведено для одинаковых типов конструкций, поэтому оно является сравнением схем с одним и двумя выключателями на фидер.

Для сравнения взяты подстанции 35/110 kV с четырьмя отходящими фидерами на каждом напряжении. При подсчете необходимого оборудования принято, что на подстанции устанавливается два трансформатора 10/35/110 kV. Сравнение стоимости произведено лишь для того оборудования, количество которого зависит от принятого варианта схемы. Стоимость электрооборудования принята по новым ценам.

Приведенные в табл. 3 результаты подсчетов следует считать ориентировочными и дающими порядок цифр при сравнении двух схем коммутации.

Из таблицы следует, что распределительные устройства 35—110 kV при американской схеме требуют около 430 000 руб. дополнительных капитальных затрат. Относительно большее значение имеет дополнительный расход весьма дефицитных в настоящее время масляных выключате-

Таблица 3

№ п/п	Наименование	Стоимость единицы	Европейская схема		Американская схема	
			количество	общая стоимость руб.	количество	общая стоимость руб.
1	Масляные выключатели МКП-153	52 000	7	364 000	12	624 000
	МКП-76Д	15 000	7	105 000	12	180 000
2	Разъединители РЗН-Г ₂ -100/600	1 700	20	34 000	30	51 000
	РЗН-Г ₂ -35/600	800	22	17 600	30	24 000
	Моторные приводы к разъединителям	1 700	30	51 000	—	—
3	Трансформаторы тока 110 kV	7 000	12	84 000	12	84 000
	35 "	600	18	10 800	18	10 800
4	" напряжения 110 "	15 000	6	90 000	6	90 000
	35 "	1 500	6	9 000	6	9 000
5	Гирлянды изоляторов для 110 kV	120	120	14 400	90	10 800
	35 "	70	70	4 900	65	4 550
6	Всего по основному оборудованию	—	—	784 700	—	1 088 150
7	Мелкое оборудование, монтаж, накладные расходы	30%	—	235 900	—	326 850
8	Металлические конструкции	1 200 (руб/т)	61 т	73 200	81 т	97 200
9	Фундамент	120 руб/м³	110 м³	13 200	190 т	22 800
	Итого	—	—	1 107 000	—	1 535 000

длительностью освоения заводами новых, совершенных типов оборудования.

Необходимо добиться от заводов комплектной поставки компактных распределительных устройств 3—6—10 kV.

Комплектность поставки уменьшит стоимость распределительных устройств, сократит сроки монтажа и улучшит его качество.

Компактность распределительных устройств позволит сократить расход дефицитных материалов и прежде всего цветных металлов.

Энергетика ставит перед заводами, изготавливающими электрооборудование, новые задачи, решение которых должно быть осуществлено в самое ближайшее время.

НОВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Параллельная работа трехобмоточных трансформаторов с различными характеристиками

PARALLEL OPERATION OF THREE-WINDING TRANSFORMERS WITH UNEQUAL CHARACTERISTICS

С. А. Совалов
Мосэнерго

В энергетических системах Союза значительное распространение получили трехобмоточные трансформаторы. При этом часто встречаются, особенно в результате реконструкции существующих подстанций, случаи установки трансформаторов с различными характеристиками.

Практика ставит перед проектными и эксплуатационными организациями вопрос о допустимости параллельной работы, длительной или кратковременной, трехобмоточных трансформаторов при неравных напряжениях к. з., неравных коэффициентах трансформации и при различном соотношении мощностей отдельных обмоток.

Вопросы, которые приходится решать, заключающиеся в определении загрузки обмоток и пропускной способности трансформаторов, наивыгоднейшей установке анцапф, улучшении параллельной работы введением реакторов, определении режима напряжения и потерь мощности, — требуют точного решения, тем более, что речь часто идет о значительных установленных мощностях, а исходные величины могут быть заданы с достаточной точностью.

Ниже приводится метод расчета токораспределения, осно-

ванный на использовании обычно принятой схемы замещения трехобмоточного трансформатора.

Параллельная работа двухобмоточных трансформаторов рассматривается как частный случай.

Кроме того, приводится приближенный расчет токораспределения в трехобмоточном трансформаторе посредством наложения отдельных простых токораспределений.

Как показано ниже, два трехобмоточных трансформатора с различными характеристиками могут быть приведены к одному эквивалентному.

Формулы приведения трансформаторов к одному эквивалентному и формулы для определения токораспределения могут быть полезны не только при решении указанных выше вопросов, но и в некоторых других расчетах, в которых встречается случай включения трансформаторов с различными характеристиками.

Расчет токораспределения. Рассмотрим общий случай параллельной работы двух трехобмоточных трансформаторов с различными характеристиками (рис. 1). Пренебрегая в расчете токораспределения намагничивающим током, мы можем представить трансформаторы двумя эквивалентными трехчечными звездами.

Принимается, что питание происходит со стороны 1 с нагрузками на сторонах 2 и 3.

Выводы одинаково относятся как к однофазным трансформаторам, так и к трехфазным (с эквивалентными группами соединения обмоток); в последнем случае все напряжения токи, импедансы приведенных ниже формул — фазовые значения эквивалентной звезды.

Положительное направление токов (применение эквивалентной схемы дает для \dot{U}_1 и \dot{I}_1 величины обратного знака и принятые обозначения ясны из схем а, б и в рис. 1. Им даны даны в омах и приведены к напряжению первичной обмотки.

Для нахождения токораспределения необходимо задать тремя величинами из шести, характеризующих напряжения и токи на всех сторонах. Имея в виду практические задачи наиболее удобно принять известными напряжение на питающей стороне трансформаторов и токи на вторичных сторонах. Ток на первичной стороне и вторичные напряжения принудительно определяются через заданные величины.

Применяя законы Кирхгофа к схемам рис. 1, составим систему уравнений, решая которую относительно \dot{I}_3' , получаем:

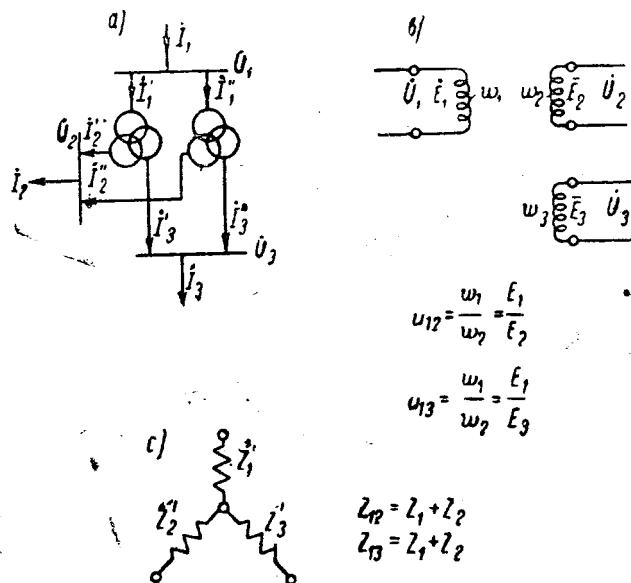


Рис. 1

Коэффициенты α_3 , β_3 и γ_3 и знаменатель m — комплексы ¹, зависящие от импедансов эквивалентных схем и коэффициентов трансформации. Они определяются выражениями:

$$\alpha_3 = \Delta u_{13} \left(\frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_{12}'' \right) - \Delta u_{12} \left(\frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_1'' \right),$$

$$\Delta u_{13} = u_{13}'' - u_{13}'; \quad \Delta u_{12} = u_{12}'' - u_{12}'; \quad (1)$$

$$\beta_3 = \frac{u_{13}'}{u_{12}'} Z_1'' Z_{12}' - \frac{u_{13}''}{u_{12}''} Z_1' Z_{12}'' = \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_1'' \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' - \frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_1' \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}'';$$

$$\gamma_3 = \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_{13}'' \left(\frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{13}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{13}'' \right) - \frac{u_{12}'}{u_{13}''} Z_1'' \left(\frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_1'' \right);$$

$$m = \left(\frac{u_{13}''}{u_{13}'} Z_{13}' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_{13}'' \right) \left(\frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{13}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{13}'' \right) - \left(\frac{u_{13}''}{u_{12}'} Z_1' + \frac{u_{13}'}{u_{12}''} Z_1'' \right) \left(\frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_1' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_1'' \right).$$

Формулы для тока i_2' аналогичны вышеприведенным и получаются из них взаимной заменой индексов 2 и 3. Знаменатель m будет тот же. Остальные токи при известных i_2' и i_3' легко определяются, пользуясь первым законом Кирхгофа пересчитывая по коэффициентам трансформации.

Если принятые заданными величины U_1 , i_2 и i_3 неизвестны, они могут быть определены по известным величинам, связываясь эквивалентной схемой двух параллельно работающих трансформаторов, которая будет дана ниже, что дает возможность пользоваться приведенной формулой во всех случаях.

Полученные для общего случая формулы могут быть легко прощены для частных случаев — равных импедансов или иных коэффициентов трансформации.

При равных коэффициентах трансформации токораспределение зависит от импедансов схемы, представляющей две параллельно включенных звезды, и может быть определено аналогично ей.

В рассмотренном общем случае формула (1) в нагрузку входят два уравнивающих тока, пропорциональных величинам $\dot{U}_1 \Delta u_{12}$ и $\dot{U}_1 \Delta u_{13}$. Коэффициенты пропорциональны этим токам зависят от отношения коэффициентов трансформации и от импедансов трансформаторов.

Эти уравнивающие токи представляют токи обмоток трансформаторов при отсутствии нагрузки. При нагруженных трансформаторах на уравнивающие токи накладываются нагрузочные токи. Величина и направление уравнивающих токов часто могут быть перестановкой ампифа отрегулированы таким образом, чтобы разгрузить перегруженные обмотки (в основном за счет переноса реактивной мощности перегруженной обмотки на недогруженную).

Пределы регулирования уравнивающего тока для увеличения пропускной способности трансформаторов с различными импедансами или различными мощностями обмоток обычно практически устанавливаются условием поддержания необходимого уровня напряжения как при работе трансформаторов в параллель, так и при выключении одного из них. Регулирование уравнивающего тока значительно облегчается при регулировке напряжения под нагрузкой хотя бы на одном из параллельно работающих трансформаторов.

Характерной особенностью параллельной работы трехобмоточных трансформаторов является тот факт, что нагрузка обмоток, например, на стороне 3, может сильно зависеть от нагрузки другой стороны 2. Например, возможно, что выключение нагрузки i_2 повлечет за собой перегрузку обмоток 3' или 3''.

¹ В статье комплексы имеют обозначения, отличные от принятых для действительных величин, только в тех случаях, где они представляют гармонически изменяющиеся величины, например, ток I (см. ГОСТ 5580, «Обозначения в области переменных электрических токов» «Электричество» 18, 1934).

Наряду с задачей о загрузке трансформаторов при параллельной их работе на обоих вторичных напряжениях также интересен случай, когда на одной из сторон трансформаторы работают раздельно.

Примем заданными величины \dot{U}_1 , i_2 , i_3' и i_3'' , где i_3' и i_3'' — нагрузки на стороне раздельной работы. Токораспределение вполне определяется формулой для i_2' :

$$i_2' = \frac{\alpha_2 \dot{U}_1 + \beta_2' i_3' + \beta_2'' i_3'' + \gamma_2 i_2}{m}, \quad (2)$$

где

$$\alpha_2 = \Delta u_{12}; \quad \gamma_2 = \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}'';$$

$$\beta_2' = -\frac{u_{12}''}{u_{13}'} Z_1'; \quad \beta_2'' = \frac{u_{12}'}{u_{13}''} Z_1'';$$

$$m = \frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}''.$$

Здесь все Z приведены к напряжению первичной обмотки.

Выражение для i_2' несколько упрощается, если привести все Z к напряжению обмоток 3' и 3''. Полагая $u_{21}' = \frac{1}{u_{12}'}$ и $u_{21}'' = \frac{1}{u_{12}''}$ и приводя окрестности i_3' к напряжению стороны 2' и i_3'' к напряжению стороны 2'', имеем:

$$i_2' = \frac{\dot{U}_1 (u_{21}' - u_{21}'') - i_3' Z_1' + i_3'' Z_1'' + i_2 Z_{12}''}{Z_{12}' + Z_{12}''}. \quad (2a)$$

Последняя формула может быть применена и в случаях параллельной работы двухобмоточного трансформатора с трехобмоточным (i_3' или i_3'' равно нулю).

Из рассмотренных выше формул чрезвычайно просто получаются, как частный случай, выражения для параллельной работы двухобмоточных трансформаторов. Положив i_3' и i_3'' равными нулю, получаем известную формулу 2:

$$i_2' = \frac{\dot{U}_1 (u_{21}' - u_{21}'') + i_2 Z_{12}''}{Z_{12}' + Z_{12}''}. \quad (3)$$

Как известно, токораспределение в двухобмоточном трансформаторе может быть определено несколько точнее, если воспользоваться более точной эквивалентной схемой Γ вместо схемы Γ (рис. 2).

Влияние намагничивающего тока на токораспределение в двухобмоточном трансформаторе может быть учтено и при использовании формулой (3) и соответствующей ей схемой Γ , так как точная схема замещения Γ всегда может быть преобразована во вполне эквивалентную ей схему Γ .

Намагничивающие токи все же мало влияют на токораспределение при значениях i_2' , близких к полной нагрузке, и в большинстве практических расчетов ими можно пренебречь.

Расчет токораспределения посредством наложения. Расчет способом наложения отдельных простых токораспределений более удобен и дает наглядное представление о роли каждого из факторов, чем облегчается решение практических задач.

Когда трехобмоточные трансформаторы раздельно работают на одной из сторон, токораспределение, определяемое формулой (2a), можно найти наложением двух токораспределений. Непосредственно наложением определяются токи обмоток 2' и 2'', остальные находятся пересчетом по коэффициентам трансформации.

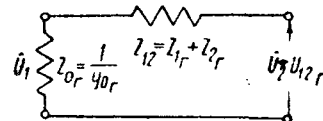
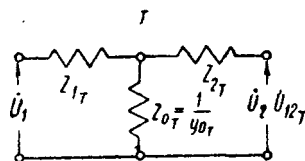


Рис. 2

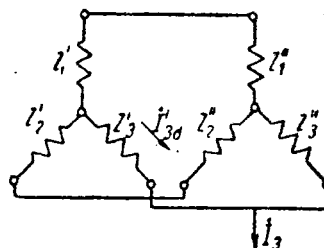
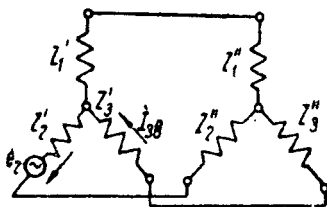
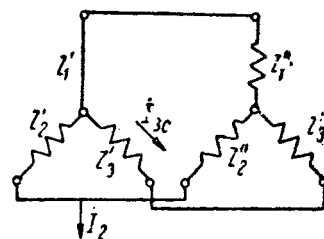
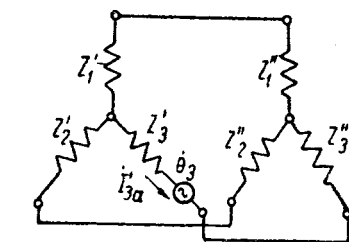
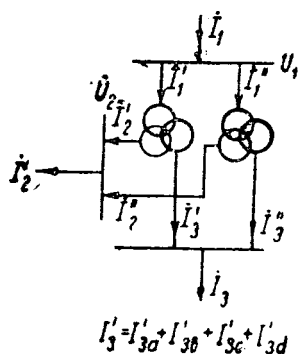


Рис. 3

Как следует из формулы (2а), ток в обмотках 2' и 2'' можно рассматривать как результат наложения токов: «уравнительного», создаваемого разностной э. д. с. $\dot{U}_{21} - \dot{U}_{21}''$ в сопротивлении $Z_{12}' + Z_{12}''$ и «нагрузочных», определяемых распределением токов нагрузки по импедансам эквивалентной схемы.

«Нагрузочные» токи находятся по обычному правилу моментов (кольцевая линия с несколькими нагрузками).

Рассмотрение точной формулы (1) для трехобмоточных трансформаторов, параллельно включенных на всех сторонах, показывает, что в этом случае метод наложения отдельных токораспределений, полученных на основе общей эквивалентной схемы, не может привести к результатам той же точности, что и формула (1). Однако эту формулу в случае, если не требуется большая точность, можно упростить. Для этого заменяем:

$\frac{u_{12}'}{u_{12}''}$ и $\frac{u_{13}'}{u_{13}''}$ и обратные им величины единице и вводим вместо $\frac{u_{13}'}{u_{12}''}$ и аналогичных отношений отношение средних коэффициентов трансформации. Тогда приближенно

При произведенном упрощении токораспределение может быть определено по способу наложения. Соответственно четырем составляющим, на которые раскладывается ток \dot{I}_3' , можно найти четыре отдельных токораспределения: для уравнительных токов находится введением э. д. с. в схему импедансов; два нагрузочных тока находятся независимо друг от друга или совместно трансформацией схемы импедансов с нагрузками:

$$\dot{I}_2 \frac{u_{13cp}}{u_{12cp}} \text{ и } \dot{I}_2.$$

Рис. 3 иллюстрирует применение способа наложения для приближенного определения токораспределения. Все импедансы на схемах этого рисунка приведены к напряжению первичной обмотки, токи приводятся к напряжению стороны 3.

Для грубых расчетов, особенно в тех случаях, когда мощность трансформаторов велика, можно пренебрегать омическим сопротивлением обмоток, что значительно облегчает все вычисления.

$$\dot{I}_3' = \frac{\dot{U}_1 \Delta u_{13} (Z_{12}' + Z_{12}'') - \dot{U}_1 \frac{u_{13cp}}{u_{12cp}} \Delta u_{12} (Z_1' + Z_1'') + \dot{I}_2 \frac{u_{13cp}}{u_{12cp}} (Z_1'' Z_2' - Z_1' Z_2'') + \dot{I}_3 [Z_{13}'' (Z_2' + Z_2'') + Z_3' (Z_1' + Z_1'')]}{(Z_{13}' + Z_{13}'') (Z_{13}' + Z_{12}'') - (Z_1' + Z_1'')^2}$$

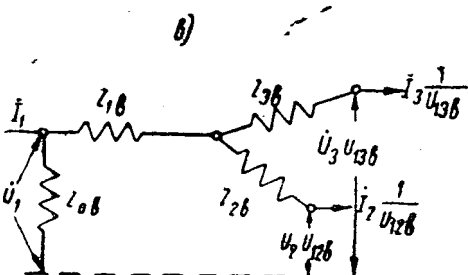
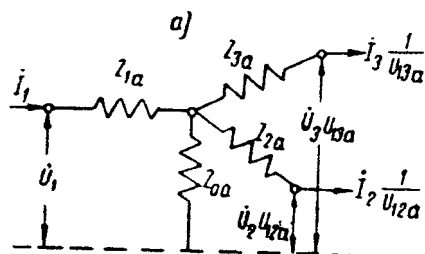


Рис. 4

Эквивалентный трехобмоточный трансформатор. Как известно, естественной эквивалентной схемой двухобмоточного трансформатора является схема Т. Точная схема трансформатора Т часто заменяется схемой Г (рис. 2). Условия, при которых схема Г вполне эквивалентна точной схеме:

$$Z_{0Г} = Z_{0Т} k; u_{Г} = u_{Т} k;$$

$$Z_{1Г} = Z_{1Т} k \text{ и } Z_{2Г} = Z_{2Т} k^2,$$

где

$$k = 1 + \frac{Z_{1Г}}{Z_{0Г}}.$$

Так как $|k|$ в практически имеющих место случаях близок к 1 ($|k| > 1,005$), не будет большой ошибки, если при замене схем Т на Г просто перенести проводимость трансформатора к одной из его сторон, не меняя констант схемы замещения (т. е. положив $Z_{0Г} = Z_{0Т}$ и т. д.).

Эквивалентная трехлучевая схема замещения трехобмоточного трансформатора предполагает пренебрежение намагничивающим током. При приближенном учете намагничивающего тока пользуются обычно схемами замещения вида а или б рис. 4.

Условие эквивалентности схем a и b дает следующее соотношение для констант:

$$u_{12b} = u_{12a} k; u_{13b} = u_{13a} k; Z_{1b} = Z_{1a} k; Z_{2b} = Z_{2a} k^2; \\ Z_{3b} = Z_{3a} k^2; Z_{0b} = Z_{0a} k,$$

$$k = 1 + \frac{Z_{1a}}{Z_{0a}}.$$

Так как $|k|$ близок к единице (при $Z_{1a} \% = 10$ и $Z_{0a} \% = 1000$, $|k| \approx 1,005$), практически можно полагать константы этих схем равными и произвольно переносить проводимость трансформатора Y_0 в любую из точек звезды, тем не менее, что сам принцип введения Y_0 в схему замещения содержит в себе некоторую неточность.

Выводах, которые были сделаны выше, а также в последующих, наиболее простые результаты получаются, если принять схему b , присоединяя Y_0 к первичному напряжению.

Напряжения и токи на первичной и на вторичной сторонах двухобмоточного трансформатора связаны формулами:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где A, B, C и D определяются через константы эквивалентной схемы Γ .

Для трехобмоточного трансформатора мы можем установить аналогичные соотношения между первичными и вторичными токами и напряжениями (приближенно учитывая при этом магнитизующий ток). В этом случае \dot{U}_1 и \dot{I}_1 могут быть разделены по трем величинам из четырех, характеризующих ток и напряжения на вторичных сторонах, и выражения, аналогичные (5), будут содержать три константы.

Так, мы можем записать:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= a\dot{U}_2 + b_2\dot{I}_2 + b_3\dot{I}_3 = A_2\dot{U}_2 + A_3\dot{U}_3 + B\dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 &= c\dot{U}_2 + d_2\dot{I}_2 + d_3\dot{I}_3 = C_2\dot{U}_2 + C_3\dot{U}_3 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \quad (6)$$

четыре аналогичных равенства.

При выбранной эквивалентной схеме b рис. 4 константы формул определяются через константы схемы замещения следующими соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} b_2 &= \frac{1}{u_{12}} Z_{12}; b_3 = \frac{1}{u_{13}} Z_{13}; A_2 = u_{12} \frac{Z_{13}}{Z_3}; \\ A_3 &= -u_{13} \frac{Z_1}{Z_3}; B = \frac{Z}{u_{12} Z_3}; \\ c &= u_{12} \frac{1}{Z_0}; d_2 = \frac{1}{u_{12}} \left(1 + \frac{Z_{12}}{Z_0}\right); d_3 = \frac{1}{u_{13}} \left(1 + \frac{Z_{13}}{Z_0}\right); \\ C_2 &= u_{12} \frac{1}{Z_3} \left(1 + \frac{Z_{13}}{Z_0}\right); \\ C_3 &= -\frac{u_{13}}{Z_3} \left(1 + \frac{Z_{12}}{Z_0}\right); D = \frac{1}{u_{12} Z_3} \left(Z_{23} + \frac{Z}{Z_0}\right), \\ Z &= Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В параллельно включенных схемы могут быть заменены эквивалентной. В случае параллельного включения схем

$$\begin{aligned} \dot{U}_1' &= \dot{U}_1'' = \dot{U}_1; \quad \dot{U}_2' = \dot{U}_2'' = \dot{U}_2; \quad \dot{U}_3' = \dot{U}_3'' = \dot{U}_3; \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_1' + \dot{I}_1''; \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_2' + \dot{I}_2''; \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_3' + \dot{I}_3'' \end{aligned}$$

для эквивалентной схемы, заменяющей две параллельно включенных

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A_2\dot{U}_2 + A_3\dot{U}_3 + B\dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 &= C_2\dot{U}_2 + C_3\dot{U}_3 + D\dot{I}_2. \end{aligned} \quad (8)$$

Если условие «параллельного сложения» дает:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{A_2' B'' + A_2'' B'}{B' + B''}; \quad A_3 = \frac{A_3' B'' + A_3'' B'}{B' + B''}; \quad B = \frac{B' B''}{B' + B''}; \\ C_2 &= C_2' + C_2'' - \frac{(D' - D'')(A_2' - A_2'')}{B' + B''}; \end{aligned}$$

$$C_3 = C_3' + C_3'' - \frac{(D' - D'')(A_3' - A_3'')}{B' + B''};$$

$$D = \frac{D' B'' + D'' B'}{B' + B''}.$$

По константам формулы (8) можно определить константы эквивалентной схемы, получившейся в результате «параллельного сложения» двух схем.

Из изложенного следует: два параллельно работающих трехобмоточных трансформатора могут быть заменены одним эквивалентным; характеристики этого трансформатора могут быть получены, если произвести указанное выше приведение двух параллельно включенных схем к одной эквивалентной.

Мы получаем, таким образом, ряд формул «параллельного сложения» трансформаторов с различными характеристиками.

Коэффициенты трансформации эквивалентного трансформатора будут:

$$u_{12} = \frac{m}{n_2} \quad \text{и} \quad u_{13} = \frac{m}{n_3}, \quad (9)$$

где m — знаменатель формул для \dot{I}_2' и \dot{I}_3' , а

$$\begin{aligned} n_2 &= \left(\frac{1}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{1}{u_{12}''} Z_{12}'' \right) \left(\frac{u_{13}''}{u_{13}'} Z_3' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_3'' \right) + \\ &+ \left(\frac{1}{u_{12}' u_{13}'} Z_2' + \frac{1}{u_{12}'' u_{13}''} Z_2'' \right) (u_{13}'' Z_1' + u_{13}' Z_1''). \end{aligned}$$

Выражение для n_3 может быть получено из n_2 взаимной заменой индексов 2 и 3.

Коэффициент трансформации эквивалентного трансформатора представляет комплексное число, так как уравнительные токи, циркулирующие по обмоткам трансформаторов, создают сдвиг векторов \dot{U}_2 и \dot{U}_3 при холостом ходе относительно вектора \dot{U}_1 .

Из соотношения между токами и э. д. с. приведенного трансформатора для любой пары обмоток;

$$E_1 = E_2 u_{12} \quad \text{и} \quad \dot{I}_2' = \dot{I}_2 \frac{1}{u_{12}}.$$

Следует, что

$$\dot{P}_2' = \dot{E}_1 \dot{I}_2' = \dot{E}_2 \dot{I}_2 \frac{1}{u_{12}} = \dot{P}_2 \frac{u_{13}}{u_{12}}$$

или, принимая обратный знак для реактивной мощности, —

$$\dot{P}_2' = \dot{P} \frac{u_{13}}{u_{12}},$$

т. е. при «трансформации» происходит изменение мощности. В этом заключается отличие приведенного трансформатора от реального.

В соответствии с указанными соотношениями и составляется схема замещения приведенного трансформатора. При этом сопротивления пересчитываются по квадрату коэффициента трансформации

$$Z_{2np} = Z_2 u_{12}^2.$$

Следует отметить, что может иметь место случай, когда, например, $|u_{12}|$ коэффициент трансформации приведенного трансформатора не лежит между значениями u_{12}' и u_{12}'' , а превышает каждое из них.

В обычных случаях мнимая часть комплексных u_{12}' и u_{12}'' чрезвычайно мала сравнительно с вещественной частью и $|u_{12}'|$ и $|u_{12}''|$ близки к вещественным частям. Если принять омическое сопротивление обмоток равным нулю, то коэффициенты трансформации представятся вещественными числами, и приведенный трансформатор ничем не будет отличаться от обычного.

Импедансы лучей звезды эквивалентного трансформатора могут быть определены по формулам:

$$\begin{aligned} Z_{12} &= \frac{1}{m} \frac{u_{12}^2}{u_{12}' u_{12}''} \left(\frac{u_{13}''}{u_{13}'} Z_{12}' Z' + \frac{u_{13}'}{u_{13}''} Z_{12}'' Z'' \right); \\ Z_{13} &= \frac{1}{m} \frac{u_{13}^2}{u_{13}' u_{13}''} \left(\frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{13}' Z' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{13}'' Z'' \right); \\ Z_{23} &= \frac{1}{m} \frac{u_{23}^2}{u_{23}' u_{23}''} \left(\frac{1}{u_{12}' u_{13}'} Z_1' Z' + \frac{1}{u_{12}'' u_{13}''} Z_1'' Z'' \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь

$$Z' = Z_{12}'Z_{18}' - Z_1'^2; Z'' = Z_{12}''Z_{18}'' - Z_1''^2.$$

(все импедансы приведены к напряжению стороны 1).

В частном случае равных коэффициентов трансформации эти формулы дают значения импедансов звезды, полученной обычной трансформацией двух звезд в одну эквивалентную.

При холостом ходе уравнивающие токи обмоток 2' и 2'' и соответственно 3' и 3'' равны друг другу; токи же в первичных обмотках будут тем больше отличаться друг от друга, чем больше разность коэффициентов трансформации, и, кроме токов холостого хода, трансформаторы будут забирать из сети дополнительный ток:

$$I_{0\text{дон}} = I_{2\text{ур}}' \left(\frac{1}{u_{12}'} - \frac{1}{u_{12}''} \right) + I_{3\text{ур}}' \left(\frac{1}{u_{18}'} - \frac{1}{u_{18}''} \right).$$

В соответствии с указанным, проводимость эквивалентного трансформатора будет равна сумме проводимостей холостого хода трансформаторов и некоторой добавочной проводимости:

$$Y_0 = Y_0' + Y_0'' + \frac{1}{m} \left[\Delta u_{12}^2 \left(\frac{u_{12}''}{u_{12}'} Z_{12}' + \frac{u_{12}'}{u_{12}''} Z_{12}'' \right) + \Delta u_{18}^2 \left(\frac{u_{18}''}{u_{18}'} Z_{18}' + \frac{u_{18}'}{u_{18}''} Z_{18}'' \right) - 2 \frac{\Delta u_{12} \Delta u_{18}}{u_{12}' u_{12}''} \left(\frac{u_{12}''}{u_{18}'} Z_1' + \frac{u_{12}'}{u_{18}''} Z_1'' \right) \right]. \quad (11)$$

Протекающие по обмоткам трансформаторов при холостом ходе уравнивающие токи создают потерю мощности. Таким образом эквивалентный трансформатор будет давать при холостом ходе повышенными потерями, в которых кроме потерь холостого хода составляющих трансформаторов, будут входить потери в меди, созданные уравнивающими токами.

В частном случае работы двухобмоточных трансформаторов формулы принимают вид:

$$u_{12} = \frac{u_{12}''^2 Z_{12}' + u_{12}'^2 Z_{12}''}{u_{12}'' Z_{12}' + u_{12}' Z_{12}''};$$

$$Z_{12} = \frac{Z_{12}' Z_{12}'' (u_{12}''^2 Z_{12}' + u_{12}'^2 Z_{12}'')}{(u_{12}'' Z_{12}' + u_{12}' Z_{12}'')^2};$$

$$Y_0 = Y_0' + Y_0'' + \frac{\Delta u_{12}^2}{u_{12}''^2 Z_{12}' + u_{12}'^2 Z_{12}''}.$$

Здесь все Z и Y_0 приведены к первичному напряжению (Y_0 присоединяется к первичной стороне).

Расчет ударных и переходных токов к. з. методом спрямленной внешней характеристики

ON THE CALCULATION OF INSTANTANEOUS AND TRANSIENT SHORT-CIRCUIT CURRENTS BY THE METHOD OF RECTIFIED EXTERNAL CHARACTERISTIC

В. М. Хрущов

Харьковский электротехнический институт

КАК известно, ударные токи к. з. со стороны генератора ограничиваются реактивным сопротивлением рассеяния генератора, точнее — x_d'' ; возрастание реакции якоря не успевает еще оказать своего влияния на величину ударного тока. Прямым следствием отсюда является заключение, что реактивное сопротивление генератора при расчете ударных сверхтоков может быть принято за постоянную величину и, следовательно, внешняя характеристика синхронного генератора для ударных токов есть прямая линия. Эта прямая фиксируется, очевидно, двумя точками: 1) точкой полного к. з. генератора (на клеммах) $u=0$, $w=w_{kk}$ и 2) точкой нормальной работы генератора $u=1$ (1,05), $w=1$. Здесь u — относительное напряжение, w — относительный ток генератора. Германские электротехники считают, что ударные токи трехполюсного, двухполюсного и однополюсного к. з. имеют одну и ту же величину, американские электротехники и заводы СССР дают для этих трех видов замыкания различные величины. В первом случае мы будем иметь, очевидно, одну внешнюю характеристику для всех трех типов к. з., во втором — различные.

В предыдущих статьях¹ было показано, что

при вычислении установившихся токов к. з. имеют место полные основания принимать реактивное сопротивление генератора величиной постоянной. Таким образом совершенно естественно поставить вопрос, не будет ли величина реактивного сопротивления генератора постоянной также и для переходных токов, разумеется, рассматриваемых в каждом случае токи, относящиеся к определенному промежутку времени, от начала к. з. В сущности единственным источником для решения этого вопроса могут служить декрементные кривые.

Автор использовал материал, опубликованный Вагнером и Ганом², и на основе цифр табл. 4 статьи этих авторов построил внешние характеристики среднего стандартного американского генератора для моментов времени $t=0$, $t=0,2$, $t=0,4$ и $t=1$ сек и для установившегося тока (рис. 1). Вычисления велись следующим образом: по току в месте к. з. и внешнему реактансу определялось напряжение генератора, по этому напряжению ток нагрузки и отсюда ток генератора. Реактивное сопротивление нагрузки, как и у Вагнера и Гана, принималось равным 1.6. Для момента времени $t=0$ были взяты только гармонические составляющие тока к. з., а пер-

¹ «Электричество» № 13, 1931. Сборник научно-технических статей ХЭТИ, в. 2, 1936.

лическая составляющая сверхтока в расчеты, конечно, не была введена. Рассматривая рис. 1, мы видим, что подавляющее большинство точек для моментов времени $t=0$, $t=0,20$ и $t=0,4$ сек. очень хорошо ложатся в прямые. Для $t=1$ сек. установившегося тока внешние характеристики получаются уже не прямыми, а криволинейными, с очень слабой выпуклостью.

Теоретически, при принятых предположках, ток генератора при $u=1$ должен быть равен току на узки, т. е. $w=0,6$, поэтому все кривые должны были проходить через точку $u=1$, $w=0,6$.

В действительности этого не наблюдается, но нас последнее обстоятельство не имеет значения. Для нас важно, что рассмотрение рис. 1 позволяет сделать единственное вполне определенное заключение, а именно — для переходных процессов реактивное сопротивление генератора полным правом может быть принято за постоянную величину.

Декрементные кривые названных двух авторов, как известно, построены в предположении, что нагрузка присоединена непосредственно к клеммам генератора, что, конечно, никогда не бывает; силу этого при определении сверхтоков при мощи этих кривых, в особенности в сложных икнутых сетях, получается значительная, а иногда и очень значительная ошибка. Далее, декрементные кривые построены для некоторого среднего, стандартного американского генератора; случае генератора, который по своим постоянным значительно отличается от стандартного, результаты вычисления сверхтоков по декрементным кривым получаются также с большой ошибкой. Можно, разумеется, для данного генератора строить свои декрементные кривые, но это представляет сложную и кропотливую работу. Наконец, декрементными кривыми нельзя учесть то, что станции в сложной сети работают с различными напряжениями и различными $\cos \varphi$, в громадном большинстве случаев никак не равными, и что константы машин отдельных станций также различны.

Установленный выше факт, что допустимо принимать реактивное сопротивление генератора постоянным, имеет поэтому чрезвычайно большое значение, так как становится возможным определить величину этого сопротивления и фиктивную д. с. любой машины для любого режима ее работы и любого промежутка времени от начала к. з., если известны постоянные машины.

Для этой цели нужно, очевидно, знать лишь соответствующие значения токов полного к. з. на клеммах генератора. К способам определения величин мы сейчас и переходим.

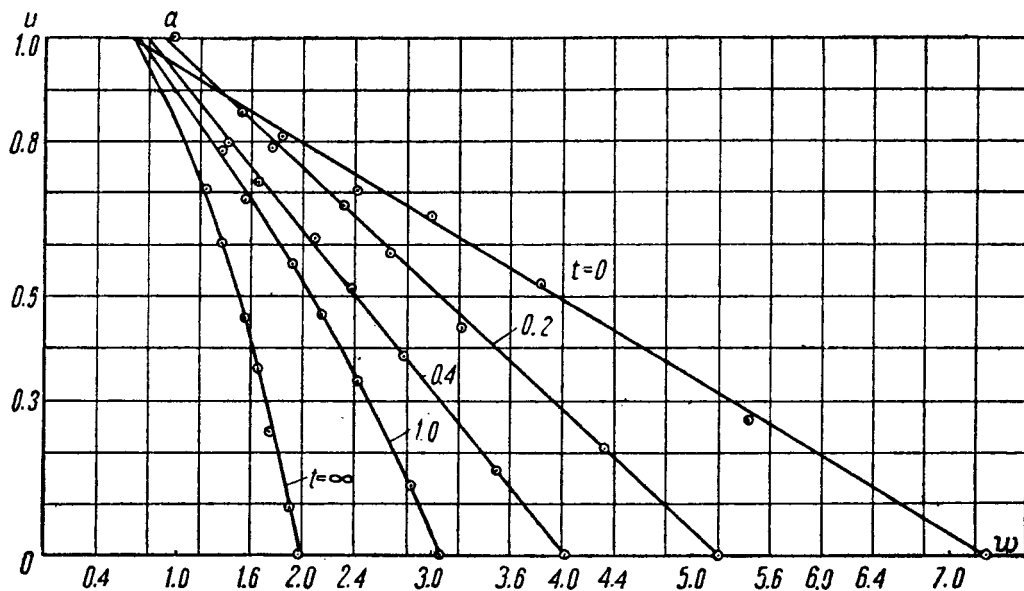


Рис. 1

Как известно, гармонический сверхток складывается из трех составляющих: быстро затухающей, медленно затухающей и установившегося тока. Первая составляющая в указанной выше статье Вагнера и Гана представляется выражением:

$$i_{6a} = (i'' - i') e^{-\frac{t}{T_d''}} \quad (1)$$

вторая же составляющая

$$i_{a3} = (i' - i_y) e^{-\frac{t}{T_d'}} \quad (2)$$

В этих выражениях:

i'' — начальное — $t=0$, эффективное значение суммы всех гармонических составляющих тока к. з. (с учетом демпферных контуров ротора) — мгновенный ток;

i' — начальное эффективное значение суммы медленно затухающей составляющей и установившегося тока (без учета демпферных контуров ротора) — переходный ток;

i_y — установившийся сверхток;

e — основание натуральных логарифмов;

t — время от момента возникновения к. з.;

T_d'' и T_d' — соответственно, постоянные времени быстро и медленно затухающих составляющих.

i'' , i' , T_d могут иметь различные значения для трехполюсного, двухполюсного и однополюсного замыканий. Ленинградский завод «Электросила» для своих турбогенераторов дает следующие значения (см. таблицу).

По этим данным при помощи формул (1) и (2) могут быть очень легко определены значения переходных токов при полном к. з. генератора (на клеммах) для любого момента времени и по

Токи к. з. и постоянные времени		Тип и мощность генератора в kW			
		T-12-2; 15 000	T-25-2; 31 250	T-50-2; 58 900	T-4376/142; 55 500
Мгновенный гармонический ток	3-полюсный (i_3'')	8,52	8,25	9,35	7,95
	2- " (i_2'')	6,55	6,45	7,3	6,2
	1- " (i_1'')	9,8	9,3	10,3	8,72
Переходный гармонический ток	3- " (i_3')	5,14	4,95	5,25	4,53
	2- " (i_2')	5,1	4,95	5,4	4,62
	1- " (i_1')	7,8	7,5	8,0	6,82
Установившийся ток	3- " ($i_y^{(3)}$)	1,5	1,48	1,53	1,53
	2- " ($i_y^{(2)}$)	2,4	2,37	2,45	2,36
	1- " ($i_y^{(1)}$)	4,05	3,95	4,1	3,92
Постоянная времени медленно затухающей составляющей	3-полюсная (T_{d3}')	0,88	1,11	1,28	1,245
	2- " (T_{d2}')	1,42	1,77	2,0	1,89
	1- " (T_{d1})	1,56	2,12	2,25	2,22
Постоянная времени быстро затухающей составляющей (T_d'')		0,11	0,14	0,16	0,156
Постоянная времени апериодической составляющей (T_a)		0,106	0,129	0,114	0,123

ним вычислены: реактивное сопротивление генератора и фиктивная э. д. с.:

$$X_z = \frac{1}{\omega_{\kappa\kappa} - 1}, \quad E_{\text{фкт}} = \frac{\omega_{\kappa\kappa}}{\omega_{\kappa\kappa} - 1}. \quad (3)$$

Последние выражения даны были автором в опубликованных ранее статьях³, где шла речь об определении расчетной э. д. с. и реактивного сопротивления генератора для установившегося тока к. з. Они относятся к случаю, когда прямолinéйная внешняя характеристика проходит через точки, отвечающие: 1) короткому замыканию на клеммах генератора ($u=0$, $\omega=\omega_{\kappa}$) и 2) нормальной работе его ($u=1$, $\omega=1$).

Необходимо дать некоторые пояснения относительно применения этих выражений к случаю расчета ударных и переходных токов к. з.

Обычно при расчетах токов к. з. во избежание сложных вычислений пренебрегают активной составляющей нагрузки и учитывают лишь ее реактивную составляющую, т. е. примерно 60% полного тока нагрузки. Это приводит к тому, что внешняя характеристика, даже и при правильных значениях $E_{\text{расч}}$ и X_z , проходит не через точку $u=1$, $\omega=1$, а через точку $u=1$, $\omega < 1$, что, разумеется, не отвечает действительности. Таким образом в отличие от других авторов, автор настоящей статьи считает необходимым заменить

импеданс нагрузки равновеликим ему по величине реактивным сопротивлением ($X_n = Z_n$). Как и при расчете установившихся токов к. з. на базе спрямленной внешней характеристики, и при расчете переходных токов получаем по тем же значениям последних, как результат арифметического сложения токов сети и нагрузок с той же частотой, вполне отвечающей требованиям практики.

Следует отметить, что при определении значений расчетной э. д. с. и реактивного сопротивления генератора при помощи выражений (3) графические построения совсем не требуются. Следовательно, сама внешняя характеристика играет здесь второстепенную роль, она представляет лишь доказательство справедливости формулы (3).

Пример 1. Определить реактивное сопротивление и фиктивную э. д. с. турбогенератора завода «Электросила», тип Т-50-2, для времени $t=0,25$ sec.

Пользуясь данными таблицы, мы имеем:

$$i_{03}^{(3)} = (9,35 - 5,25) \cdot e^{-\frac{0,25}{0,16}} = 0,865;$$

$$i_{03}^{(2)} = (7,3 - 5,4) \cdot e^{-\frac{0,25}{0,16}} = 0,400;$$

$$i_{мз}^{(3)} = (5,25 - 1,53) \cdot e^{-\frac{0,25}{1,28}} = 3,06;$$

$$i_{мз}^{(2)} = (5,4 - 2,45) \cdot e^{-\frac{0,25}{2,0}} = 2,603.$$

Ток полного трехполюсного к. з. для $t=0,25$ sec:

$$\omega_{\kappa\kappa}^{(3)} = 0,865 + 3,06 + 1,53 = 5,455;$$

Тот же ток при двухполюсном:

$$\omega_{\kappa\kappa}^{(2)} = 0,400 + 2,603 + 2,45 = 5,453.$$

Реактивное сопротивление генератора для переходных токов при трехполюсном замыкании

$$X_z^{(3)} = \frac{1}{4,455} = 0,2245;$$

то же при двухполюсном:

$$X_z^{(2)} = \frac{1}{4,453} = 0,2247.$$

Фиктивная э. д. с. для переходных токов при трехполюсном замыкании:

$$E_{\text{фкт}}^{(3)} = \frac{5,455}{4,455} = 1,225;$$

при двухполюсном:

$$E_{\text{фкт}}^{(2)} = \frac{5,453}{4,453} = 1,225.$$

Мы видим, следовательно, что для $t=0,25$ sec и значения реактивного сопротивления генератора и фиктивной э. д. с. при трехполюсном и двухполюсном замыканиях почти равны.

Совершенно аналогичным образом для этой машины получаются величины X_z и $E_{\text{фкт}}$ для $t=1$ sec, а именно:

$$X_z^{(3)} = 0,447, \quad X_z^{(2)} = 0,309, \quad E_{\text{фкт}}^{(3)} = 1,477 \quad \text{и} \quad E_{\text{фкт}}^{(2)} = 1,335.$$

³ См. сноску 1.

этом случае при вычислении фиктивной э. д. с. силу наличия искривления внешней характеристики необходимо внести поправочный коэффициент, который был принят равным 1,02. Мы видим, что и здесь разница между $X_2^{(3)}$ и $X_2^{(2)}$, а также между $E_{\phi\kappa\tau}^{(3)}$ и $E_{\phi\kappa\tau}^{(2)}$ невелика.

Во многих случаях постоянная времени медленно затухающей составляющей неизвестна, дается лишь постоянная времени цепи возбуждения T_{d_0}' , которую, вообще говоря, нетрудно определить экспериментальным путем. Связь между этими постоянными дает формула Парка и Робертсона, позволяющая вычислить T_d' по данному T_{d_0}' . Формула Парка и Робертсона для частного случая к. з. на клеммах генератора получает вид:

$$T_d' = \frac{X_d'}{X_d} \cdot T_{d_0}'$$

где X_d' и X_d — соответственно переходное и синхронное реактивные сопротивления генератора. Для примера определим еще фиктивную э. д. с. реактивное сопротивление для $t = 0,25$ сек генератора со средними данными, принятыми электротехниками. В этом случае дается именно значение $T_{d_0}' = 5$ сек.

Пользуясь данными табл. 2 статьи Гана и Вагера, мы имеем:

$$i_y^{(3)} = 1,97; \quad i^{(3)} = 5,0; \quad X_d' = 0,23; \quad X_d = 1,10.$$

Отсюда вычисляем

$$T_d' = 1,045 \text{ сек.}, \quad w_{\kappa\kappa}^{(3)} = 4,357, \quad w_{\kappa\kappa}^{(2)} = 4,669.$$

В этом случае быстро затухающая составляющая в этой цепи к моменту времени $t = 0,25$ сек равна нулю, ибо постоянная времени ее равна 0,05 сек. В основании этих величин мы получаем:

$$i_2^{(3)} = 0,298; \quad E_{\phi\kappa\tau}^{(3)} = 1,3; \quad X_2^{(2)} = 0,2725; \quad E_{\phi\kappa\tau}^{(2)} = 1,272.$$

В большинстве случаев фирмы не дают значений мгновенных, переходных и установившихся токов к. з., в лучшем случае, можно получить значения реактивных сопротивлений начального — X_d'' , переходного — X_d' и синхронного — X_d . Когда даны эти сопротивления, по ним,умеется, легко определяются и значения i'' , i' , если известны соответствующие значения э. д. с., которые также должны быть даны.

В качестве примера, когда неизвестны значения X_d'' , X_d' и X_d , мы рассмотрим генератор со средними данными Союза германских электротехников. В этом случае известны $\epsilon_a - \epsilon_b = 0,15$, $\epsilon = 0,24$, и графическим построением можно найти, что при повышенном на 5% напряжении то установившегося к. з.

$$i_y^{(3)} = 1,799 \quad \text{и} \quad i_y^{(2)} = 2,68.$$

Поставим себе задачей определить реактивное сопротивление генератора и фиктивную э. д. с. при $t = 0,25$ сек.

Из кривых рис. 10а статьи ⁴ «Methode zur Berechnung von Kurzschlussströmen und Schalterleistungen» мы получаем значения переменной гармонической составляющей переходного тока генератора для $t = 0,25$ сек, а именно: эта составляющая переходного тока составляет 43% при трехполюсном и 60% при двухполюсном замыкании от начальной величины ($t = 0$) ее. Согласно указаний § 15 и § 6 только что названной статьи кратность первого пика ударного тока турбогенератора со средними данными Союза германских электротехников равна

$$\sqrt{2} \cdot 1,8 \frac{1,05}{0,15} = \sqrt{2} \cdot 12,4.$$

Воспользовавшись указаниями § 16, что быстро затухающий член гармонического тока затухает через 1 сек, постоянная времени медленно затухающего члена равна 1 сек при трехполюсном замыкании и 2 сек при двухполюсном, а постоянная времени аperiodического члена равна 0,1 сек, — можно вычислить, что в момент $t = 0$ гармонический ток (за вычетом установившегося) 4,75 кратен при трехполюсном замыкании и 3,87 кратен при двухполюсном. Поэтому для $t = 0,25$ сек гармоническая составляющая переходных токов будет:

$$i_3'' = 0,43 \cdot 4,75 = 2,04; \quad i_2'' = 0,60 \cdot 3,87 = 2,32.$$

Для определения полной величины гармонической составляющей переходного тока нужно к найденным токам прибавить ее установившиеся токи. Таким образом:

$$i_3^{(3)} + i_3'' = 2,04 + 1,799 = 3,839;$$

$$i_2^{(2)} + i_2'' = 2,32 + 2,68 = 5,0.$$

Отсюда:

$$X_2^{(3)} = \frac{1,05}{2,839} = 0,37; \quad E_{\phi\kappa\tau}^{(3)} = \frac{1,05 \cdot 3,839}{2,839} = 1,42;$$

$$X_2^{(2)} = \frac{1,05}{4,0} = 0,262; \quad E_{\phi\kappa\tau}^{(2)} = \frac{1,05 \cdot 5,0}{4,0} = 1,32.$$

Полученные нами результаты позволяют решить следующую интересную задачу: при каких величинах реактивного сопротивления внешней части цепи к. з. — X_c токи двухполюсного и трехполюсного к. з. будут равны. Для решения этого вопроса мы можем написать:

$$\frac{E_{\phi\kappa\tau}^{(3)}}{X_2^{(3)} + X_c} = \frac{\sqrt{3} E_{\phi\kappa\tau}^{(2)}}{\sqrt{3} X_2^{(2)} + 2 X_c},$$

откуда

$$X_c = \frac{E_{\phi\kappa\tau}^{(2)} \cdot X_2^{(3)} - E_{\phi\kappa\tau}^{(3)} \cdot X_2^{(2)}}{1,153 E_{\phi\kappa\tau}^{(3)} - E_{\phi\kappa\tau}^{(2)}}.$$

Для $t = 0,25$ сек и генератора завода «Электросила», тип Т-50-2, из последнего выражения получаем:

$$X_c = 0.$$

Для американского турбогенератора со средними данными и при $t = 0,25$ сек:

$$X_c = 0,11.$$

Для турбогенератора Союза германских электротехников при том же t :

$$X_c = 0,333.$$

Мы видим, следовательно, что в сетях с турбогенераторами завода «Электросила» (Т-50-2) при $t = 0,25$ сек ток трехполюсного замыкания всегда превышает ток двухполюсного; в сетях с генераторами со средними данными американских электротехников это имеет место при замыкании непосредственно за повысительными трансформаторами. Наконец, в сетях с турбогенераторами Союза германских электротехников существует зона, где ток двухполюсного замыкания будет больше тока трехполюсного.

Для сравнения решим ту же задачу для установившихся токов. Получаем:

турбогенератор завода «Электросила»:

$$X_c = 0,729;$$

турбогенератор со средними данными Союза германских электротехников:

$$X_c = 0,636;$$

турбогенератор со средними данными американских электротехников (ориентировочно):

$$X_c = 0,6.$$

Таким образом в данном пункте сети установившийся ток к. з. трехполюсного замыкания может быть меньше тока двухполюсного, в то время как при 0,25 сек будет иметь место обратное соотношение.

Произведем сравнение для однополюсного и трехполюсного замыканий. Воспользовавшись данными таблицы, а именно:

$$i_1'' = 10,3; i_1' = 8,0; i_y = 4,1 \text{ и } T_d' = 2,25 \text{ сек,}$$

мы для случая работы генератора типа Т-50-2 непосредственно в сети, без трансформатора, способом, аналогичным использованному выше, получим значения фиктивной э. д. с. и реактивного сопротивления генератора однополюсного замыкания при $t = 0,25$ сек:

$$E_{\phi k}^{(1)} = 1,124 \text{ и } X_2^{(1)} = 0,124.$$

При работе того же генератора в сети через трансформатор в генераторе будет течь ток в двух фазах и вместо постоянной времени T_{d1}' мы должны взять постоянную времени $T_{d2}' = 2,0$ сек.

В таких условиях значения фиктивной э. д. с. и реактивного сопротивления генератора при $t = 0,25$ сек будут:

$$E_{\phi k}^{(1)} = 1,125 \text{ и } X^{(1)} = 0,1247.$$

При однополюсном замыкании, благодаря тому что ток возвращается через землю, реактивное сопротивление проводов будет выше рабочего и в соответствии с значением реактивного сопротивления нулевой последовательности при методе симметричных составляющих может быть принято равным 1,833. Тогда условие равенства сверхтоков при трехполюсном и однополюсном

замыканиях и при наличии трансформатора может быть написано в форме:

$$\frac{E_{\phi k}^{(3)}}{X_2^{(3)} + X_{mp} + X_c} = \frac{E_{\phi k}^{(1)}}{X_2^{(1)} + X_{mp} + 1,833X_c},$$

откуда

$$X_c = \frac{E_{\phi k}^{(1)}(X_2^{(3)} + X_{mp}) - E^{(3)}(X_2^{(1)} + X_{mp})}{1,833E_{\phi k}^{(3)} - E_{\phi k}^{(1)}}.$$

Приняв реактивное сопротивление трансформатора $X_{mp} = 0,105$ и подставив полученные выше значения и X_2 , будем иметь:

$$X_c = 0,0754.$$

Таким образом ток трехполюсного замыкания при $t = 0,25$ сек будет больше тока однополюсного тогда, когда реактивное сопротивление участка линии передачи от трансформатора до пункта к. з. превышает всего лишь 0,0754.

Для установившегося тока мы получим $X_c = 0,3475$.

В сложных замкнутых сетях большинство генераторов отделено от пункта к. з. путями тока с значительными реактивными сопротивлениями. Если сложную сеть привести к виду лучевой сети, то большинство генераторов будут питать к. з. через реактивное сопротивление, много большее единицы. В силу этого мы приходим к тому заключению, что в сложных замкнутых сетях ток трехполюсного замыкания при $t = 0,25$ сек будет всегда больше тока двухполюсного и однополюсного замыканий; при установившемся к. з. ток трехполюсного замыкания в подавляющем большинстве случаев также будет превышать ток двухполюсного и однополюсного; только в наиболее простых сетях возможны случаи, когда ток двухполюсного замыкания будет превышать ток трехполюсного. В отдельных линиях передач установившийся ток двухполюсного замыкания может быть меньше даже тока однополюсного; в таких случаях этот последний превышает ток двухполюсного замыкания при замыкании, как это можно вычислить аналогичным путем с реактивным сопротивлением сети $X_c < 1,2395$.

Апериодическая составляющая тока к. з. будет

$$i_{an} = \sqrt{2} i'' e^{-\frac{t}{T_a}}.$$

Таким образом для данного значения t апериодическая составляющая сверхтока прямо пропорциональна току i'' и легко определяется, если этот ток известен.

Пример 2. Определить начальные значения i_{an} для генератора завода «Электросила», тип Т-50-2, и генератора со средними данными Союза германских электротехников для $t = 0,01$ и $t = 0,25$ сек при трехполюсном к. з. на клеммах машины.

Для первого генератора мы получаем:

$$i_{an \cdot t = 0,05} = \sqrt{2} \cdot 9,35 \cdot e^{-\frac{0,01}{0,114}} = 12,13;$$

$$i_{an \cdot t = 0,25} = \sqrt{2} \cdot 9,35 \cdot e^{-\frac{0,25}{0,114}} = 1,481.$$

Для второго — постоянная времени аperiodической составляющей, согласно указаниям, данным цитированной выше статье³, § 16в, равна 1 sec, а потому:

$$an \cdot t = 0,01 = \sqrt{2} \cdot 7,66 \cdot e^{-\frac{0,01}{0,1}} = 9,8;$$

$$i_{an} \cdot t = 0,25 = \sqrt{2} \cdot 7,66 \cdot e^{-\frac{0,25}{0,1}} = 0,89.$$

Пример 3. Определить начальные значения i_{an} для генератора со средними данными американских электротехников для $t = 0,0083$ и $t = 0,25$ sec, при трехполюсном замыкании на клеммах.

Постоянная времени аperiodической составляющей для этого генератора $T_a = 0,15$ sec и потому:

$$i_{an} \cdot t = 0,0083 = \sqrt{2} \cdot 7,3 \cdot e^{-\frac{0,0083}{0,15}} = 9,76;$$

$$i_{an} \cdot t = 0,25 = \sqrt{2} \cdot 7,3 \cdot e^{-\frac{0,0083}{0,15}} = 1,955.$$

При к. з. не непосредственно на клеммах генератора, а через некоторое реактивное сопротивление в сети, необходимо знать значение $i'_{t=0}$ для момента времени $t = 0$ в этих условиях. Эта величина, разумеется, может быть легко определена расчетом по соответствующим значениям $E_{фит=0}$ и $X_{2,t=0}$. От нее нетрудно, конечно, перейти к значениям i_{an} при данном t .

В том случае, когда сеть обладает сложной конфигурацией, для вычисления значений i_{an} иногда необходимо затратить значительное время для расчета сверхтоков при $t = 0$. Чтобы избежать этого, можно воспользоваться следующим графическим методом, дающим, разумеется, приближенное решение.

³ См. сноску 4.

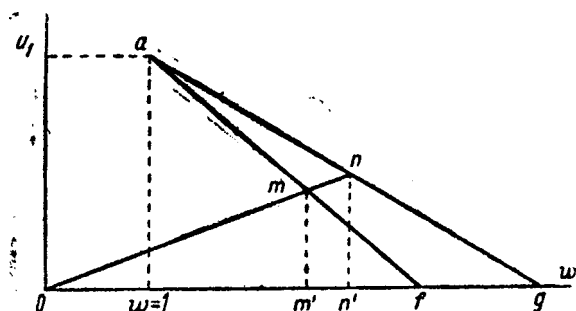


Рис. 2

Пусть прямая af (рис. 2) представляет внешнюю характеристику для некоторого момента времени t , для которого расчет гармонической части сверхтока произведен и аperiodическую составляющую которой нужно найти: пусть ag — такая же внешняя характеристика для $t = 0$. Предположим, что точка m первой характеристики отвечает найденному сверхтоку в генераторе при замыкании в данном пункте. Проведя прямую Om , мы получаем геометрическое место точек напряжений на реактансе сети с применением тока, проходящего через него, и потому точка пересечения линий Om и ag дает нам точку, отвечающую сверхтоку в генераторе при замыкании в данном пункте сети и $t = 0$. Если нам необходимо знать величину аperiodической составляющей в месте к. з., то от значения тока в генераторе On' легко перейти к току в месте к. з., если ток в этом месте, полученный по характеристике af , помножить на отношение ординат nn' к mm' . Само собой разумеется, что полное значение сверхтока получается соответствующим суммированием гармонической части и аperiodической составляющей сверхтока.

Работа тиратронов на повышенных частотах

THYRATRON OPERATION AT HIGHER FREQUENCIES

Л. С. Друскина и А. В. Красилов

Завод „Светлана“

В ряде случаев тиратроны, помимо высокого к. п. д., большого срока службы, устойчивости работы и др., должны еще обладать свойством быстрого восстановления управляющего действия сетки после прекращения разряда, иначе говоря, так называемое время деионизации должно быть сведено к минимуму. Это требование, безусловно, обязательно при работе тиратрона на повышенных частотах — в схемах выпрямителя токов повышенной частоты, инвертера, релаксационного генератора и ряде других.

При работе тиратрона на переменном токе, в особенности на повышенных частотах, необходимо, чтобы ионы успевали исчезать из разрядного пространства за время отрицательного полупериода анодного напряжения. В противном случае, если остаточная концентрация ионов к моментам повторных зажигания велика, то нормальная работа прибора будет нарушена.

Посмотрим, каким образом отразится наличие остаточных ионов в приборе на работе тиратрона в некоторых частных случаях его применения.

Работа тиратрона на повышенных частотах. Тиратрон находит себе применение, хотя и ограниченное, в качестве выпрямителя токов повышенной частоты. При таком его использовании на анод-катод тиратрона подается синусоидальное напряжение повышенной частоты, на сетку — постоянное напряжение. При данном анодном напряжении момент зажигания определяется напряжением, приложенным к сетке. Зависимость сеточного напряжения в момент зажигания-критического потенциала сетки — от величины анодного напряжения носит название характеристики зажигания тиратрона.

Если к моментам повторных зажигания в приборе по каким-либо причинам остается значительная концентрация зарядов, то для прекращения разряда требуется прикладывать к сетке большее отрицательное напряжение, чем для его зажигания. В этом случае характеристика потухания тиратрона, выражающая зависимость напряжения на сетке, достаточного для прекращения разряда, от величины анодного напряжения, будет смещена по отношению к характе-

ристике зажигания в область отрицательных значений сеточного напряжения.

Это явление может быть обусловлено, с одной стороны, увеличением времени деионизации вследствие изменения режима работы тиратрона: увеличения сопротивления в цепи сетки, повышения давления паров ртути или увеличения протекающего через прибор анодного тока. С другой стороны, то же явление будет наблюдаться в том случае, если время отрицательного полупериода анодного напряжения делается сравнимым со временем деионизации, т. е. при работе тиратрона на повышенных частотах. Во всех перечисленных случаях расхождение характеристик зажигания и потухания объясняется наличием остаточных зарядов в приборе.

С увеличением концентрации остаточных зарядов для управления тиратроном необходимо подавать на сетку большие отрицательные импульсы, величина которых определяется расхождением характеристик.

$$U_g = U_{gz} + \Delta U_g,$$

где U_{gz} — критический потенциал сетки, определяемый из характеристики зажигания;

ΔU_g — величина расхождения характеристик зажигания и потухания.

Возможность работы тиратрона в качестве выпрямителя токов повышенной частоты обуславливается, главным образом, допустимым расхождением характеристик, определяемых условиями работы тиратрона в данном динамическом режиме.

При работе тиратронов в инвертерном режиме большое значение имеет вопрос о презделах, в которых можно регулировать отдаваемый инвертером ток. При определении максимального допустимого угла регулирования α_{\max} необходимо учитывать не только время коммутации u (в градусах, в течение которого происходит переход тока с одной фазы на другую, но и время деионизации τ , необходимое для исчезновения остаточных зарядов из разрядного пространства тиратрона.

Предельный максимальный угол регулирования, как известно, должен удовлетворять следующему уравнению:

$$\alpha_{\max} + u + \tau \leq 180^\circ.$$

Если по каким-либо причинам время деионизации возрастет, так что приведенное выше условие не будет выполнено, то коммутация тока не сможет произойти. Сетка тиратрона не успеет восстановить свое управляющее действие до появления на аноде тиратрона положительного напряжения, что приведет к короткому замыканию питающей инвертер линии¹.

Наиболее жесткие требования в отношении времени деионизации предъявляются к тиратронам, работающим в релаксационных схемах. Поэтому разберем этот случай более подробно.

Для развертки кривых, исследуемых помощью катодного осциллографа, а также для развертывания изображений, получаемых на экранах иконоскопа и кинескопа — передатчика и приемника катодного телевизионного устройства, необходимо подавать на отклоняющие пластины напряжение, возрастающее пропорционально времени и изменяющееся синхронно с напряжением, подаваемым на вторую пару

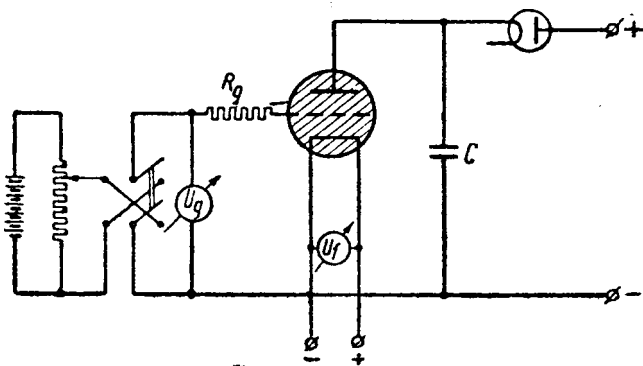


Рис. 1. Релаксационная схема

отклоняющих пластин. Движения электронного пучка, необходимые для развертывания изображения, могут быть также осуществлены при помощи переменных магнитных полей, возникающих благодаря импульсам тока, протекающего в отклоняющих катушках, устанавливаемых вне трубки. Для получения на экране кинескопа экранчика-растра, соответствующего экранчику иконоскопа, необходимо, чтобы пучок электронов двигался по ломаной кривой сравнительно медленно на участке «прямого хода», когда катодный луч используется для разворачивания изображений, и очень быстро на участке «обратного хода», возвращающего луч в исходное положение. Такая кривая получается пропусканием через катушки тока «пилообразной» формы. Так как магнитные поля катушек, отклоняющих луч в горизонтальном и вертикальном направлении, взаимно перпендикулярны, частоты пульсаций тока, пропускаемого через каждую пару катушек, подобраны таким образом, что они находятся между собой в кратном синхронизме, то на экране кинескопа получается растр, состоящий из ряда равноудаленных параллельных линий, аналогичный растру на передатчике.

Для получения напряжений «пилообразной» формы применяются ламповые или тиратронные релаксационные генераторы. Тиратронные схемы имеют ряд преимуществ перед ламповыми, которые сводятся в основном к следующим: 1) простота схемы; 2) возможность регулирования в широких пределах амплитуды развертывающего напряжения; 3) легкость синхронизации.

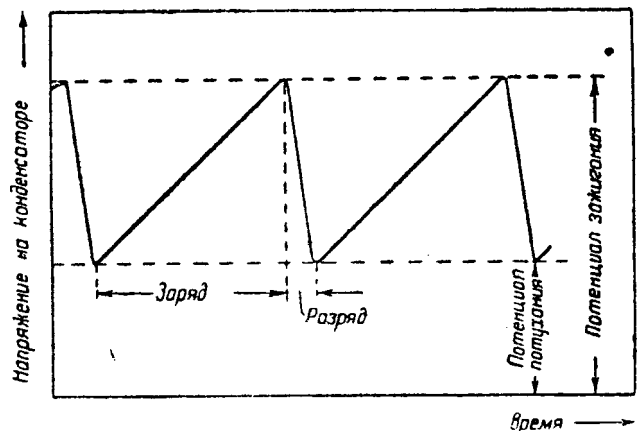


Рис. 2. Кривая изменения напряжения на конденсаторе

Обычная релаксационная схема представлена на рис. 1. При подаче анодного напряжения конденсатор C заряжается от батареи через сопротивление или электронную лампу (рис. 1) по закону:

$$U_c = U \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right),$$

до тех пор, пока напряжение на его обкладках не достигнет значения U_{\max} , соответствующего потенциалу зажигания тиратрона. В момент зажигания анодный ток тиратрона резко возрастает и во много раз превосходит зарядный ток. Конденсатор быстро разряжается через тиратрон до потенциала U_{\min} , соответствующего потенциалу погасания тиратрона. Если ток, протекающий через тиратрон при напряжении на обкладках конденсатора, равном U_{\min} , больше зарядного, то тиратрон гаснет, и начинается вновь заряд конденсатора. В результате напряжение на конденсаторе изменяется периодически так, как показано на рис. 2.

Если к тому моменту, когда напряжение на обкладках конденсатора достигнет значения U_{\min} , газовый промежуток в тиратроне будет все еще обладать достаточной проводимостью за счет оставшихся от предыдущей работы ионов, то конденсатор будет продолжать разряжаться через тиратрон. Заряд конденсатора начнется вновь лишь тогда, когда концентрация ионов в разрядном пространстве тиратрона уменьшится до некоторого минимального значения, при котором газовый промежуток в приборе практически становится непроводящим. Помимо того, если к началу повторного заряда конденсатора в тиратроне остается большее количество зарядов, чем при нормальной его работе, то это приводит к изменению потенциала зажигания

¹ Deutschmann, Siemens-Zeitschr. Bd. 13, Sonderheft, Oct. 1935; Каганов и Котылев, Бюллетень ВЭИ № 5, 1935.

U_{\max} . Известно, что с увеличением концентрации остаточных зарядов характеристика зажигания тиратрона смещается. Вследствие этого потенциал зажигания уменьшается.

Благодаря этим двум явлениям, наблюдающимся при более высоких частотах, происходит изменение частоты и искажение формы кривой развертывающих токов, а также изменяется амплитуда кривой развертки благодаря изменению величин U_{\max} и U_{\min} .

Необходимо, чтобы частота развертывающих токов была устойчива во времени. Это в основном зависит от постоянства характеристики зажигания тиратрона. Влияние непостоянства потенциала зажигания сказывается тем сильнее, чем меньше проницаемость тиратрона, т. е. чем больше характеристика зажигания.

В случае наполнения тиратрона каким-либо газом, а не парами ртути плотность его в пространстве между анодом и катодом до зажигания почти не зависит от температуры, а следовательно, потенциал зажигания таких тиратронов будет в меньшей степени зависеть от температуры, чем ртутных. Поэтому более целесообразно применять в релаксационных схемах тиратроны с наполнением инертным газом.

Наиболее существенным фактором, определяющим предельные частоты, которые могут быть получены в релаксационной схеме, является время деионизации. Основные требования, предъявляемые к развертывающей системе, в отношении формы, амплитуды частоты и устойчивости колебаний могут быть удовлетворены только в том случае, если деионизация заканчивается непосредственно после того, как напряжение на обкладках конденсатора уменьшится до некоторого значения, соответствующего потенциалу потухания тиратрона. Увеличение времени деионизации приводит к неизбежному искажению формы, амплитуды и частоты генерируемого напряжения. Релаксационные колебания имеют только верхний предел частот, так как при низких частотах тиратрон работает вполне устойчиво. Следовательно, к тиратронам, работающим в схеме развертки строк, должны предъявляться значительно более жесткие требования, чем к тиратронам, работающим в схеме развертки кадров. В первом случае желательно получение колебаний с частотой до 6000 Hz. Так как тиратрон в релаксационной схеме работает только во время «обратного хода», то при обычном отношении времени прямого хода ко времени обратного хода, равном 10, время деионизации должно быть порядка микро-секунд.

Уже из рассмотрения некоторых возможных случаев применения тиратронов на повышенных частотах можно заключить, что основным фактором, ставящим предел работе тиратронов на повышенных частотах, является время деионизации. Во всех разобранных случаях нормальная работа тиратрона может быть поддерживаема в том случае, если управляемость моментов зажигания помощью отрицательного потенциала сетки восстанавливается в течение определенного, иногда весьма короткого времени, т. е. если оболочка ионного пространственного заряда, окружающая сетку в момент разряда, полностью или частично рассеивается.

Несмотря на то, что время деионизации в сильной степени влияет на работу тиратронов, в особенности на повышенных частотах, явление деионизации весьма слабо освещено в литературе.

Необходимо отметить, что термин «время деионизации» является в значительной степени условным, так как допустимая концентрация остаточных зарядов к моменту повторных зажигания, необходимая для нормальной работы, всецело определяется рабочим режимом тиратрона. Поэтому и метод определения времени деионизации должен зависеть от конкретного случая применения тиратрона.

Выяснение основных факторов, влияющих на работу тиратронов на повышенных частотах, возможно лишь на основе изучения физических процессов, происходящих в тиратроне при низких частотах. Поэтому остановимся вкратце на условиях возникновения и самостоятельного разряда в тиратроне.

До зажигания в тиратроне протекает «предпусковой» электронный ток, величина которого при данном анодном напряжении определяется потенциалом на сетке прибора. Так как поле у катода отрицательно, то анода достигнут лишь те электроны, скорости которых достаточны для преодоления медленного поля. Проходя через отверстия сетки в пространство между сеткой и анодом, электроны попадают в сильное ускоряющее поле. Часть из них ионизирует на своем пути молекулы газа. Увеличение тока, протекающего через прибор, происходит непосредственно за счет вновь образованных электронов и косвенно вследствие влияния об-

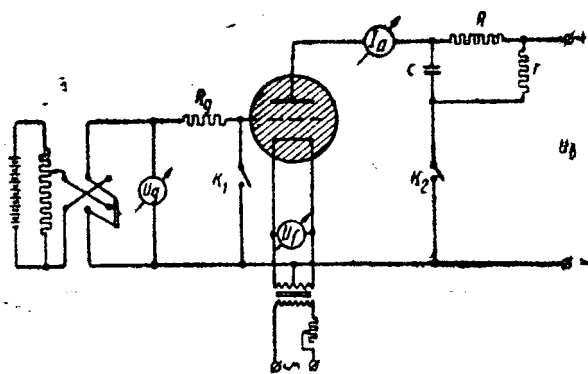


Рис. 3. Схема для определения времени деионизации

разованных одновременно положительных ионов. Последние частично проникают к катоду, нейтрализуют отрицательный объемный заряд и освобождают дополнительное количество электронов из пространства сетка—катод. Помимо того, увеличение предпускового тока происходит благодаря образованию ионной оболочки вокруг сетки, вызывающей как бы увеличение потенциала сетки на некоторую положительную величину:

$$\Delta U_g = \frac{Q}{C_g},$$

где Q — ионный заряд в пространстве сетка—катод;

C_g — некоторая величина, имеющая размерность емкости. Поэтому практически приходится говорить не о характеристике зажигания тиратрона, а о некоторой области зажигания. В особенности это относится к ртутным тиратронам, давление пара в которых является функцией от целого ряда факторов.

Тиратроны с газовым наполнением являются в этом отношении значительно более устойчивыми.

Экспериментальное определение времени деионизации

Путем экспериментального подбора величин C и R при работе тиратрона в схеме, изображенной на рис. 3, было определено время деионизации в зависимости от ряда факторов. Выяснилось, что оно может меняться в широких пределах, принимая значения от 10 до 650 мкс для одного и того же тиратрона в зависимости от рабочего режима. Исследование было произведено над ртутными тиратронами типа ТГ-160 производства завода «Светлана» (рис. 4).

На рис. 5 изображены кривые, иллюстрирующие зависимость времени деионизации от напряжения на сетке тиратрона для различных значений сопротивления в цепи сетки. Чем больше отрицательный потенциал сетки, тем больше ускоряющее поле и, следовательно, тем скорее будет протекать процесс диффузии ионов к поверхности сетки.

Как видно из приведенных кривых, при изменении потенциала сетки от -35 до -5 V время деионизации возрастает в несколько раз. Далее из рассмотрения тех же кривых видно, что время деионизации тем больше, чем больше сопротивление в цепи сетки. В отрицательный полупериод анодного напряжения ионы, оставшиеся в приборе после прекращения анодного тока, частично устремляются к отрицательно заряженной



Рис. 4. Тиратрон ТГ-160

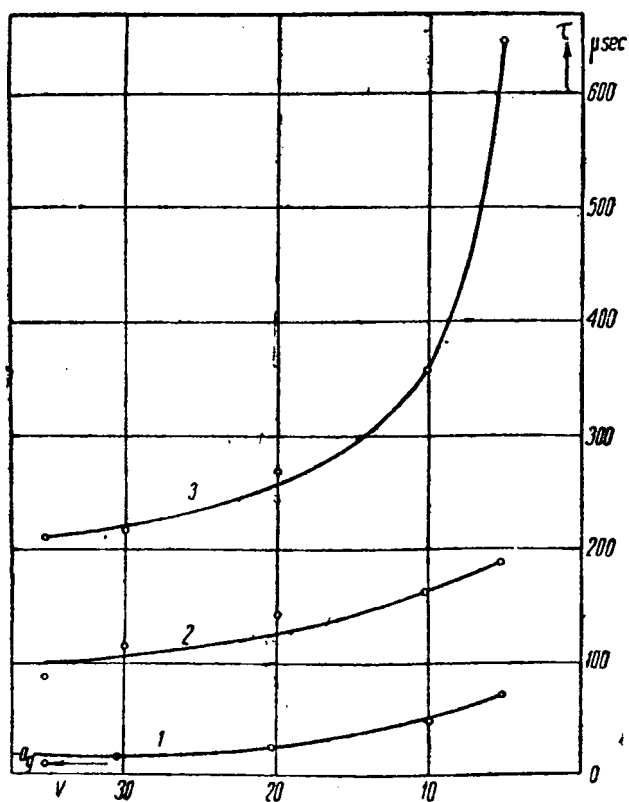


Рис. 5. Время деионизации в зависимости от напряжения сетки при $I_a = 150$ мА. Кривые 1, 2 и 3 для сопротивлений в цепи сетки R_g , равном 21 400 Ω; 0,7 МΩ и 3,7 МΩ соответственно

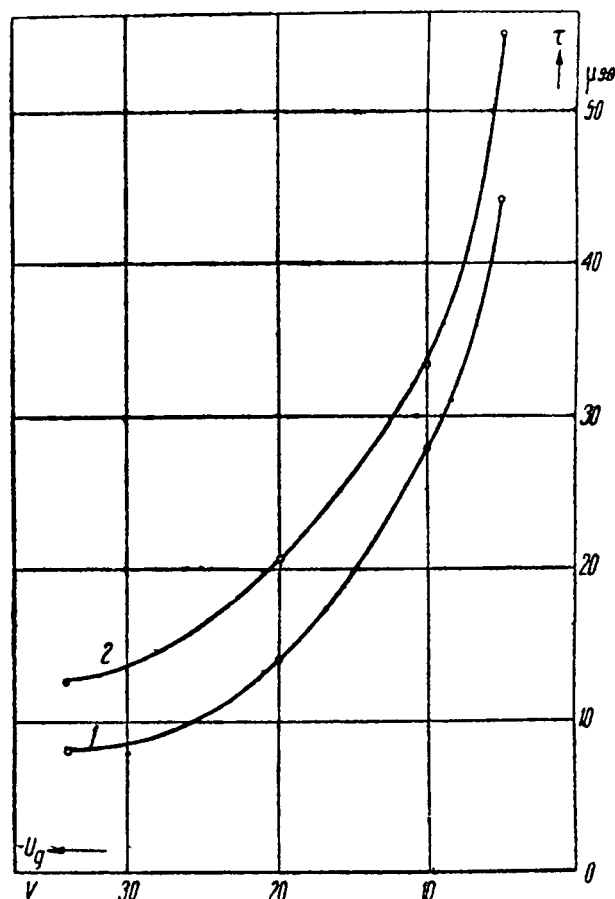


Рис. 6. Время деионизации в зависимости от напряжения сетки при $U_a = 100$ В и $R_g = 28700$ Ω. Кривые 1, 2 для анодного тока, равного 150 и 225 мА соответственно

сетке. Они передают свой заряд поверхности сетки и отходят от нее в виде нейтральных газовых атомов.

При этом в цепи сетки протекает ток, величина которого в сильной степени зависит от величины сопротивления в цепи сетки. При большом сопротивлении стекание зарядов, переданных металлической поверхности сетки подходящими к ней ионами, будет затруднено. При этом вокруг сетки образуется положительный пространственный заряд, медленно рассасывающийся с течением времени. Чем меньше к тому же потенциал сетки, тем дольше будет протекать процесс нейтрализации ионов.

По рис. 6 можно судить о зависимости времени деионизации от анодного тока при сопротивлении в цепи сетки, равном 28 700 Ω. Как и следовало ожидать, чем больше величина анодного тока, тем большее количество зарядов остается от полупериода «горения» и, следовательно, требуется большее время для их рассеяния.

С повышением температуры колбы, а следовательно, и плотности паров ртути, замедляется процесс диффузии зарядов к электродам и стенкам прибора, что влечет за собой увеличение времени деионизации. На рис. 7 приведены кривые, характеризующие зависимость времени деионизации от температуры накальной горловины при постоянном напряжении на сетке.

Из кривых видно, что с повышением температуры накальной горловины от 38–40°, соответствующей нормальной работе тиратронов, до 80–85° время деионизации возрастает более чем в три раза.

На основании проведенного исследования можно заключить, что работа тиратрона на повышенных частотах в сильной степени зависит от выбранного рабочего режима, так как время деионизации в широких пределах определяется основными параметрами внешних цепей. Увеличение времени деионизации вызывается: 1) уменьшением отрицательного потенциала сетки; 2) увеличением сопротивления в цепи сетки; 3) увеличением анодного тока; 4) повышением давления паров ртути (или давления наполняющего газа).

В каждом конкретном случае работы тиратрона на повышенных частотах время деионизации определяет допустимую величину расхождения характеристик зажигания и потухания

при работе тиратрона в качестве выпрямителя, предельную частоту релаксационных колебаний или же угол деионизации при инвертировании. Поэтому определение времени деионизации необходимо производить с учетом предельного режима работы тиратрона.

Время деионизации при работе тиратрона в качестве выпрямителя. В этом случае на анод-катод тиратрона подавалось переменное синусоидальное напряжение, частоту которого можно было изменять. Возникновение разряда при данном анодном напряжении достигалось уменьшением отрицательного напряжения на сетке.

С повышением частоты анодного напряжения характеристики зажигания тиратронов смещаются в сторону отрицательных значений сеточного напряжения. Рис. 8 иллюстрирует эту зависимость для ртутного тиратрона типа ТГ-160.

Влияние частоты анодного напряжения на характеристику зажигания объясняется тем, что чем выше частота, тем большее количество ионов, образующихся еще в предпусковой период, остаются в приборе к моменту зажигания. Так как для зажигания требуется вполне определенная концентрация зарядов вне зависимости от того, каким образом она была достигнута, то, следовательно, разряд в этом случае возникает при большем по абсолютной величине отрицательном напряжении на сетке тиратрона.

Смещение характеристик в сильной степени зависит от величины сопротивления в цепи сетки. Чем больше величина сопротивления, тем при более низких частотах тиратрон перестает управляться. Рис. 9 характеризует зависимость критического потенциала сетки от величины сопротивления в цепи сетки при постоянных значениях анодного напряжения.

Влияние сопротивления на смещение характеристик зажигания объясняется изменением фактического потенциала сетки вследствие падения напряжения на сопротивлении в цепи ее.

Влияние повышения частоты анодного напряжения сказывается еще в большей степени на расхождении характеристик зажигания и потухания. Кривые, изображенные на

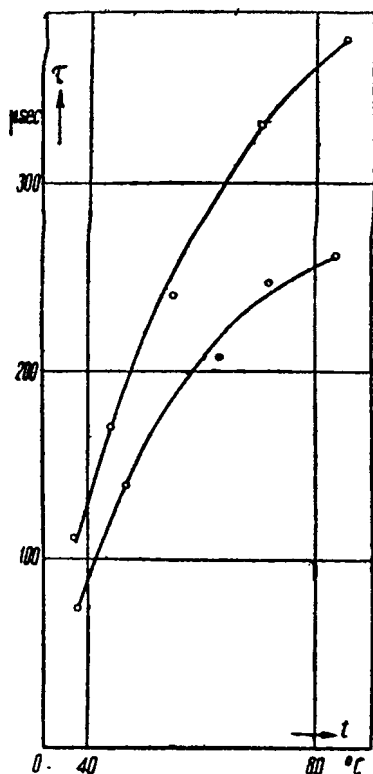


Рис. 7. Время деионизации в зависимости от температуры накаливаемой горловины баллона при $R_g = 0,7 \text{ M}\Omega$ и $I_a = 170 \text{ mA}$; 1 — $U_g = 10 \text{ V}$; 2 — $U_g = 20 \text{ V}$

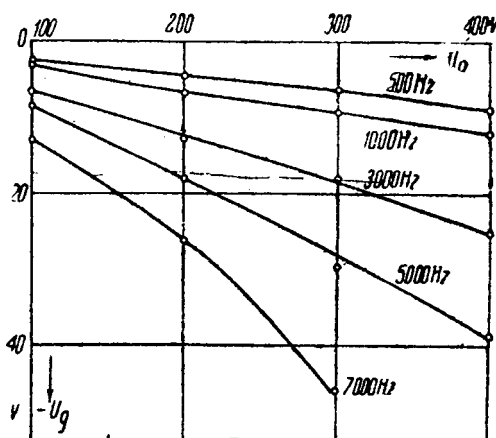


Рис. 8. Характеристики зажигания в зависимости от частоты анодного напряжения

рис. 10, иллюстрируют зависимость этого расхождения от частоты анодного напряжения,

Время деионизации при работе тиратрона в релаксационной схеме. Исследуемое напряжение, снимаемое с обкладок конденсатора (рис. 1), подавалось на одну пару пластин катодного осциллографа. На вторую пару пластин подавалось развертывающее напряжение, получаемое при помощи аналогичного релаксационного устройства. При соответствующем подборе частот можно было получить на экране неподвижную кривую исследуемого напряжения. Сопротивление в цепи сетки исследуемого тиратрона при всех измерениях составляло 3000Ω . Частота релаксационных колебаний регулировалась в широких пределах изменением емкости, зарядного тока и смещения на сетке исследуемого неоновового тиратрона (Завод «Светлана», тип ТГ-212, рис. 11).

На рис. 12 приведены полученные таким образом осцил-

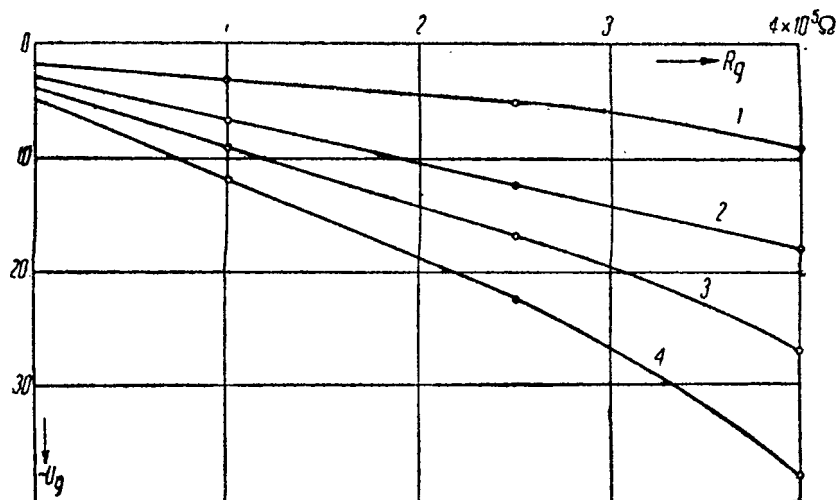


Рис. 9. Зависимость критического потенциала сетки от сопротивления в цепи ее при различных анодных напряжениях U_a : 1 — 100; 2 — 200; 3 — 300 и 4 — 400 В ($f = 1000 \text{ Hz}$)

лограммы. При частоте 500 Гц (рис. 12а) время деионизации не сказывается на форме генерируемых колебаний. Конденсатор начинает заряжаться почти сразу же после окончания разряда в тиратроне. При 2000 Гц (рис. 12, б) уже наблюдается некоторое затягивание обратного хода луча, обусловленное замедленным темпом деионизации. После окончания разряда тиратрон еще некоторое время представляет собой конечное по величине сопротивление. Вследствие этого заряд конденсатора начинается вновь лишь тогда, когда внутреннее сопротивление тиратрона делается достаточно большим, т. е. практически по окончании деионизации. Таким образом „затягивание“ обратного хода целиком определяется временем деионизации.

С увеличением частоты релаксационных колебаний наблюдается явление, изображенное на рис. 12, с. Конденсатор заряжается до напряжения, значительно меньшего, чем потенциал зажигания U_{\max} (определяемый напряжением, приложенным к сетке тиратрона). При этом тиратрон зажигается, напряжение на конденсаторе резко уменьшается, и заряд конденсатора начинается вновь. На этот раз тиратрон зажигается только при достижении на конденсаторе потенциала U_{\max} .

Предварительный разряд, происходящий в тиратроне при низком напряжении на конденсаторе, объясняется тем, что в разрядном пространстве остается некоторая концентрация

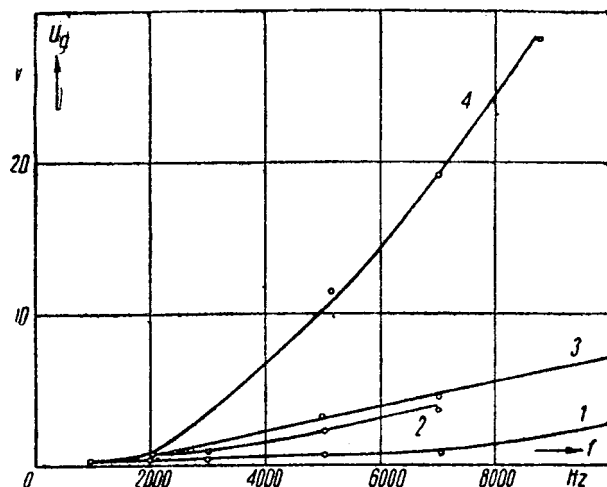


Рис. 10. Зависимость расхождения характеристик зажигания и потухания от частоты анодного напряжения. 1 и 2 — $R_g = 10^3 \Omega$; $U_a = 100$ и 300 V соответственно; 3 и 4 — $R_g = 10^5 \Omega$; $U_a = 100$ и 300 V

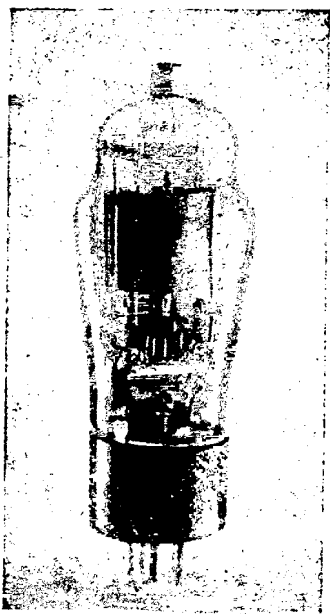


Рис. 11. Тиратрон ТГ-212

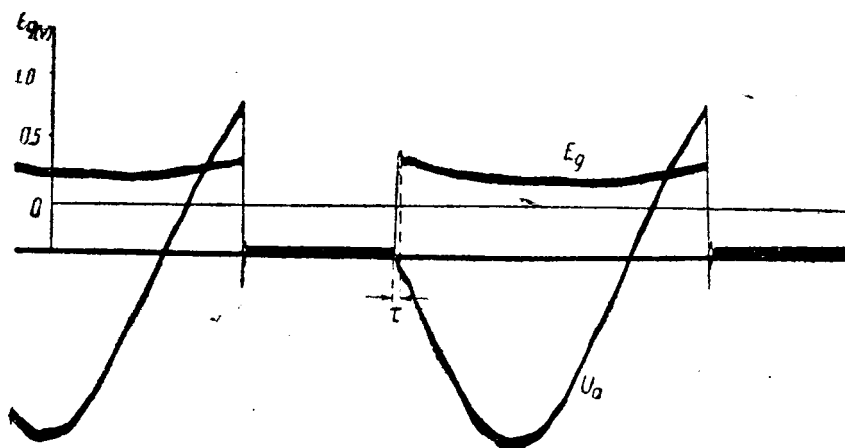


Рис. 13. Измерение времени деионизации осциллографически

зарядов от предыдущего периода горения. При этом потенциал зажигания понижается. При уменьшении напряжения на конденсаторе предварительный разряд прекращается, и происходит деионизация. Так как концентрация зарядов в приборе при этом значительно меньше, чем в случае нормального разряда, то происходит полная деионизация, и напряжение на конденсаторе возрастает вновь до потенциала U_{\max} , при котором происходит зажигание тиратрона.

Чем меньше отрицательный потенциал сетки, тем больше время деионизации, и следовательно, при меньшей частоте наступает предварительный разряд.

Явление предварительного разряда наблюдалось нами и у ртутных тиратронов типа ТГ-160.

Отметим, что при приближении к предельным частотам, при которых наблюдается предварительный разряд, тиратроны обычно работают неустойчиво. Благодаря этому генерируемые ими колебания также неустойчивы: при незначительном изменении параметров схемы в некоторых случаях наблюдается даже срыв колебаний. Благодаря уменьшению анодного потенциала зажигания при данном потенциале на сетке тиратрона амплитуда колебаний с увеличением частоты уменьшается.

Полученные осциллограммы могут быть также использованы для определения времени деионизации исследуемых тиратронов.

Деионизация в тиратроне начинается тогда, когда напряжение на обкладках конденсатора достигает значения потенциала потухания U_{\min} . Затягивание разряда, наблюдаемое на осциллограммах, определяет время деионизации тиратрона. Для ртутного тиратрона время

деионизации, определенное из осциллограмм, составляют 100—130 μsec , т. е. соответствует предыдущим измерениям. Более благоприятные результаты дают неоновые тиратроны, время деионизации у которых при разных условиях работы варьируется от 50 до 95 μsec .

Отметим, что в релаксационных схемах тиратроны работают в значительно более трудных условиях, чем при синусоидальном анодном напряжении, так как после прекращения разряда на анод тиратрона не попадает отрицательное напряжение, ускоряющее процесс деионизации во втором случае. В то же время деионизация должна происходить в течение нескольких микросекунд (при частоте релаксационных колебаний порядка 6000 Hz), тогда как в обычных типах тиратронов завода „Светлана“ время деионизации имеет порядок десятков, а в некоторых случаях и сотен микросекунд.

Осциллографический метод. Прекращение разряда в тиратроне связано с резким изменением протекающих в анодной и сеточной цепи токов. По скорости изменения этих токов можно в известной мере судить о времени деионизации.

Благодаря наличию сопротивления в цепи сетки напряжение, приложенное к сетке от внешнего источника, не будет равно фактическому потенциалу сетки. Если обозначить напряжение, подводимое к сетке, — U_g ; фактический потенциал сетки — E_g ; ток, протекающий в цепи сетки, — I_g , то можно написать, что

$$E_g = U_g + I_g R_g.$$

В зависимости от знаков слагаемых E_g может быть отрицательным и положительным по отношению к катоду. Так как величина фактического потенциала сетки зависит от протекающего в ее цепи тока, то о времени деионизации можно судить по изменению потенциала сетки в момент, соответствующий прекращению разряда в тиратроне.

На рис. 13 представлена осциллограмма, иллюстрирующая изменение анодного напряжения и фактического потенциала сетки во времени. В момент прекращения разряда, обусловленного снижением анодного напряжения ниже потенциала ионизации, потенциал сетки резко изменяется (на рис. 13 по оси ординат вверх отложены отрицательные значения потенциала сетки).

Время τ на осциллограмме, соответствующее изменению потенциала сетки в момент прекращения разряда в тиратроне, характеризует время деионизации.

На основании проведенного исследования времени деионизации можно заключить, что, помимо режима работы тиратрона, на скорость рассеяния остаточных зарядов в сильной степени влияет также конструкция тиратрона.

Так как скорость диффузии зависит с одной стороны, от числа остаточных зарядов и, с другой — от величины и расположения улавливающих заряды поверхностей, то поэтому при данном режиме работы тиратрона представляются две возможности для уменьшения времени деионизации: 1) увеличить скорости диффузии за счет уменьшения плотности паров ртути (или газа) или 2) увеличить поверхности, улавливающие заряды, и приблизить их к разрядному пространству, чем будет достигнуто повышение интенсивности процесса диффузии.

Рис. 12. Осциллограммы релаксационных колебаний

Уменьшение плотности паров ртути достигается выбором соответствующего температурного режима для ртутного тиратрона и подбором оптимального давления для тиратронов, наполненных инертным газом.

Вторую возможность наиболее целесообразно реализовать, кружив разрядное пространство анодом. Этим достигается увеличение поверхности анода и одновременное укорочение путей для диффузии.

Увеличение поверхности сетки также приводит к уменьшению времени деионизации, однако при этом возрастают точные токи, что в некоторых случаях является нежелательным.

Таким образом уменьшение времени деионизации может

быть достигнуто: 1) уменьшением габаритов прибора; 2) относительным увеличением поверхностей сетки и анода; 3) экранированием разрядного пространства.

Отметим, что приведенные требования могут быть осуществлены только в тиратронах, специально сконструированных для работы на повышенных частотах, к которым не предъявляется одновременно требование большой чувствительности. В этом случае тиратрон работает при малых сопротивлениях в цепи сетки, и увеличение междуэлектродных емкостей вследствие увеличения поверхностей электродов и приближения их друг к другу не сказывается на работе тиратрона.

Сварочная дуга переменного тока

ALTERNATING CURRENT ARC AS APPLIED TO WELDING

В. П. Никитин и И. Я. Рабинович

Краснознаменный Моск. механико-машиностроительный институт

ЦЕЛЬЮ настоящего исследования было изучение процессов, происходящих в дуге переменного тока, и определение тех электрических характеристик сварочной цепи и источника, питающего дугу, которые обеспечивают устойчивое горение ее.

Предварительно этот комплекс вопросов рассматривается для случая, когда крутопадающая характеристика напряжения, подаваемого от источника питания на дугу, являющаяся, как известно¹, непременным условием устойчивости горения, обеспечивается подключением дуги к источнику через последовательное омическое сопротивление.

При экспериментальном исследовании дуги и последовательно соединенный с ней рустратовский реостат присоединялись к обычному сварочному трансформатору СТ-2 с вторичным напряжением $U = 55$ V.

Дуга представляет собой некоторую омическую нагрузку, индуктивность всех остальных элементов цепи весьма мала и ею можно в данном случае пренебречь. Поэтому в дальнейшем принимается, что угол сдвига фаз между током и напряжением в цепи равен нулю.

После этого предварительного замечания перейдем к рассмотрению процессов, происходящих в дуге.

Чтобы после к. з. электродов могла возникнуть дуга, необходимо некоторое так называемое напряжение зажигания U_r .

При синусоидальном напряжении источника дуга возникает спустя некоторое время t_1 (рис. 1) от начала периода $t = 0$, когда мгновенное значение напряжения источника $U = 0$.

После возникновения дуги (точка А) напряжение на ней согласно уравнению Айртона будет одновременно с возрастанием тока падать вплоть до того момента, когда ток достигнет максимума (точка С). Затем вместе с уменьшением тока будет увеличиваться напряжение, требуемое для поддержания дуги. В некоторый момент времени t_2 , когда напряжение, требуемое для поддержания дуги, станет больше подводимого источником, дуга погаснет (точка В) и вновь зажжется лишь при напряжении, соответствующем моменту t_1 второй половины периода (точка А₁). Следовательно, в течение промежутка времени $t_b = t_1 + t_2$ дуга не горит. Во время перерыва горения газовый промежуток начинает деионизироваться, и напряжение, требуемое для прекращения деионизации и возникновения дуги, возрастает.

Дуга может возникнуть вновь, если скорость деионизации будет меньше, чем скорость роста напряжения источника,

$$\text{т. е. } \frac{dU_r}{dt} < \frac{du}{dt}.$$

При некоторых условиях (плохой обмазке, большой теплопроводности среды и электродов, затрудненном возникновении

катодного пятна на детали) скорость деионизации может быть столь велика, что это требование не выполняется, и дуга вновь не возникнет.

Время от начала периода до момента возникновения дуги t_1 определяется простым соотношением:

$$t_1 = \frac{\arcsin \frac{U_r}{U_m}}{\omega},$$

где U_m — амплитуда напряжения источника.

Время горения дуги t_r и время перерыва от момента ее угасания до повторного зажигания t_b , вообще говоря, связано с явлением деионизации.

Однако, как показали исследования Симона², подтверждающиеся опытами авторов, при значениях тока выше 100 А кривые напряжения на дуге имеют вид, отличный от кривой рис. 1. Это объясняется тем, что при больших токах газовый промежуток сильно нагрет, и ионизация его велика, и поэтому напряжение горения U_a мало изменяется с изменением тока и незначительно отличается от напряжения зажигания дуги, т. е. можно принять, что

$$U_a = U_r.$$

Таким образом можно принять, что при сварке током

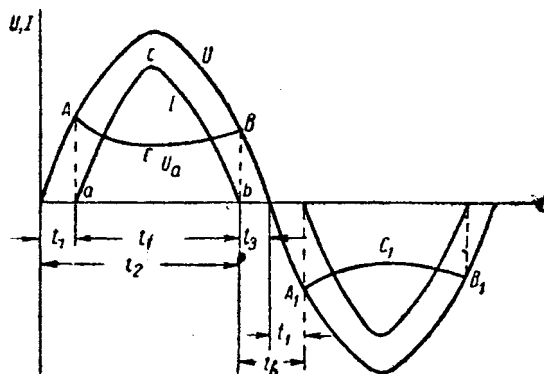


Рис. 1. $U = 55$; $U_r = 39$ и $U_a = 26$ V; $I_e = 108$ A; $R = 0,26$ Ω; $t_1 = 0,0016$; $t_2 = 0,0084$; $t_b = 0,0012$; $t_r = 0,0072$ и $t_b = 0,0028$ sec

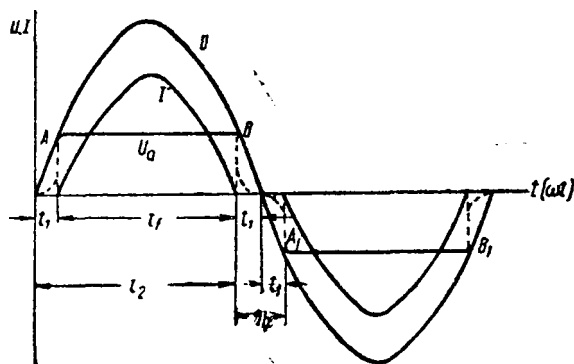


Рис. 2. $U = 55$ и $U_a = U_r = 26$ В; $I_e = 270$ А; $R = 0,108 \Omega$; $t_1 = 0,00103$; $t_2 = 0,00892$; $t_f = 0,00784$ и $t_b = 0,00216$ сек.

больше 100 А кривая $U_a = f(t)$ имеет вид, показанный на рис. 2. Очевидно, при этой форме кривой U_a

$$t_b = \frac{\arcsin \frac{U_r}{U_m}}{\pi f} \quad (1)$$

так как $t_1 = t_2$.

Из уравнения (1) видно, что время перерыва уменьшается вместе с напряжением зажигания дуги и с увеличением напряжения источника, питающего дугу. Напряжение зажигания зависит в свою очередь от теплового состояния газового промежутка и длины дуги: чем сильнее нагрет газовый промежуток и чем короче дуга, тем меньше напряжение зажигания.

Так как тепловое состояние среды оказывает существенное влияние на величину напряжения зажигания, то естественно, что с увеличением рабочей силы тока напряжение зажигания будет понижаться, а при малых токах оно будет велико, т. е. дуга будет мало устойчива. Следовательно, при увеличении силы тока при сварке для повышения производительности труда устойчивость дуги возрастает.

Чтобы не увеличивалось время перерыва при необходимости уменьшить рабочую силу тока — I_w (при сварке стали малых толщин), напряжение источника при холостом ходе, т. е. при возникновении дуги, должно возрастать при сварке на малых токах. С этой точки зрения наиболее пригодны для сварки на малых токах трансформаторы, имеющие характеристику вида, изображенного на рис. 3.

Если же в трансформаторах регулирование устроено так (рис. 4), что с уменьшением рабочей силы тока уменьшается и напряжение холостого хода, то сварка на малых токах и поддержание дуги невозможны. Промежуточной является группа трансформаторов, в которых напряжение холостого хода не меняется при регулировании, и внешняя характеристика имеет вид, изображенный на рис. 5.

Так как у трансформатора СТ-2 вторичное напряжение при холостом ходе равно 55 В, то при сварке на малых

токах это напряжение слишком мало, что и обуславливает невозможность сварки и получения устойчивого горения дуги при токах меньше 70 А.

Зависимость напряжения зажигания дуги, при котором возможно устойчивое горение, от рабочей силы тока сварки приведена на рис. 6.

Из уравнения (1) также видно, что увеличение частоты уменьшает время перерыва в дуге, но вместе с уменьшением перерыва в дуге уменьшается и напряжение зажигания, что опять-таки ведет к улучшению устойчивости ее.

Рассмотрим дальше, каковы будут уравнения кривых U и I каковы эффективные значения напряжения, тока и мощности дуги переменного тока с последовательно подключенным омическим сопротивлением.

Для облегчения анализа, положим $U_r = U_a$, т. е. рассмотрим случай больших токов. Тогда кривые $U = f(t)$ и $I = f(t)$ будут иметь вид, приведенный на рис. 2.

Уравнение цепи для интервала $\omega t_1 \div \omega t_2$ напишется так

$$U_m \sin \omega t = U_a + iR.$$

Так как

$$U_a = U_m \sin \omega t_1,$$

то ток

$$i = I_m (\sin \omega t - \sin \omega t_1), \quad (2)$$

где $I_m = \frac{U_m}{R}$ — амплитудное значение тока в цепи при замыкании ее на сопротивление R .

Таким образом кривая тока может быть построена как сумма двух кривых: синусоиды и прямой, параллельно оси абсцисс.

На рис. 7а и 7б даны для одних в тех же значениях постоянных U_m, R , расчетная кривая и осциллограмма $i = f(t)$. Как видно, обе кривые весьма сходны по форме.

Зная уравнение тока, нетрудно найти по известной формуле

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\omega t_1}^{\omega t_2} i^2 \cdot d\omega t} \quad \text{эффективное значение его:}$$

$$I_e = I_m k_i, \quad (3)$$

где

$$k_i = \frac{1}{\pi} \sqrt{(\pi - 2\omega t_1) \left(\sin^2 \omega t_1 + \frac{1}{2} \right) - \frac{3}{2} \sin 2\omega t_1}.$$

Напряжение на дуге U_a в интервалах от 0 до ωt_1 и от ωt_2 до π изменяется по синусоиде, а в интервале от ωt_1 до ωt_2 оно постоянно — $U_a = U_m \sin \omega t_1$.

Аналогично, как и для тока, находим:

$$U_{ae} = U_m \cdot k_v, \quad (4)$$

где

$$k_v = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} + (\omega t_2 - \omega t_1) \left(\sin^2 \omega t_1 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} \sin 2\omega t_1 \right]}$$

Тем же методом определяем значение эффективной мощности:

$$P_{ae} = \frac{U_m^2}{R} k_w, \quad (5)$$

где

$$k_w = \frac{1}{\pi} \left[\sin 2\omega t_1 - (\omega t_2 - \omega t_1) \sin^2 \omega t_1 \right].$$

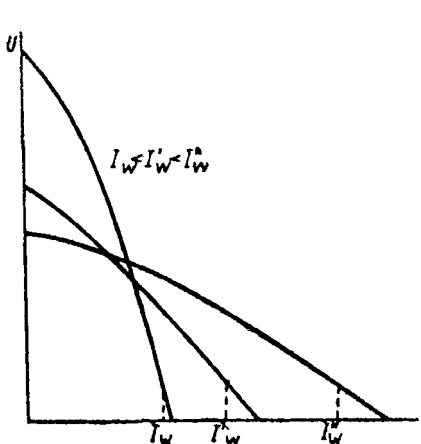


Рис. 3

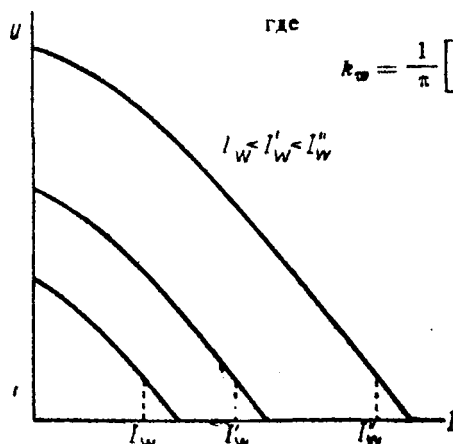


Рис. 4

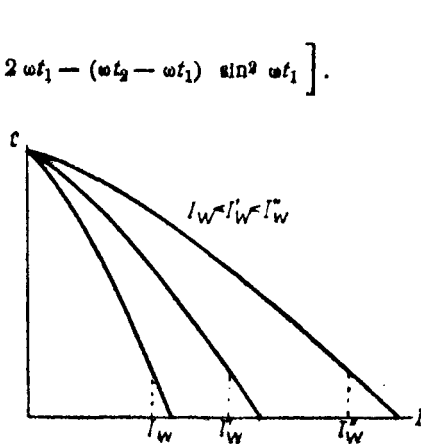


Рис. 5

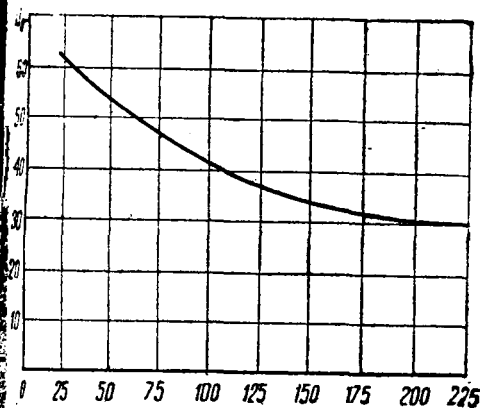


Рис. 6

Зная эффективное значение тока, напряжения и мощности, можно определить коэффициент мощности:

$$\delta = \frac{P_{ae}}{U_{ae} I_e} \quad (6)$$

Величина δ , которую можно также назвать коэффициентом искажения кривых, колеблется в пределах $0,8 \div 0,97$. При малых рабочих токах, при больших перерывах в дуге коэффициент искажения меньше, т. е. кривые больше отличаются от синусоид.

Дуга в последовательном соединении с индуктивностью. Процессы, происходящие в дуге переменного тока в цепи при наличии значительной индуктивности, существенно отличаются от аналогичных процессов в дуге переменного тока с последовательно подключенным омическим сопротивлением. В качестве источника, питающего дугу, в данном случае могут служить трансформаторы с искусственным увеличенным рассеянием или же трансформаторы с нормальным рассеянием (например СТ-2), но с последовательно подключенной индуктивной катушкой. Схема такой цепи представлена на рис. 8.

Наличие в цепи индуктивности и дуги, представляющей собою некоторое омическое сопротивление, создает между током и напряжением некоторый сдвиг фаз φ . Соответствующим подбором индуктивности можно добиться такого угла φ , что в момент появления тока в цепи напряжение источника будет достаточным для возникновения дуги. Таким образом при индуктивности в цепи дуги можно осуществить непрерывное горение дуги. Кривые тока и напряжения на дуге для такого случая представлены на рис. 9.

При незначительной индуктивности сварочной цепи и при сравнительно большом омическом сопротивлении перерывы в горении дуги и неустойчивость ее неизбежны. Кривая тока резко искажается и отлична от синусоиды (см. ниже рис. 11a и 11b).

Уравнение сварочной цепи, если пренебречь падением напряжения в омическом сопротивлении цепи (R_d), которое в нормальных сварочных контурах обычно ничтожно, и пиками угасания и зажигания, значительными лишь при малых токах, согласно Рюденбергу⁸ напишется так:

$$U_m \sin(\omega t + \varphi) = U_a + \omega L \frac{dI}{dt} \quad (7)$$

Здесь, как и раньше, мы полагаем $U_a \approx \text{const}$. Решение уравнения будет:

$$I = -\frac{U_m}{\omega L} \cos(\omega t + \varphi) + \frac{U_a}{\omega L} \cos \varphi - \frac{U_a}{\omega L} \omega t, \quad (8)$$

откуда нетрудно найти, что

$$\cos \varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{U_a}{U_m} \quad (9)$$

Итак, величина угла сдвига фаз в цепи переменного тока с дугой и индуктивностью определяется соотношением между напряжением дуги и амплитудой напряжения источника.

⁸ Проф. Р. Рюденберг, Явления неустановившегося режима в электрических установках.

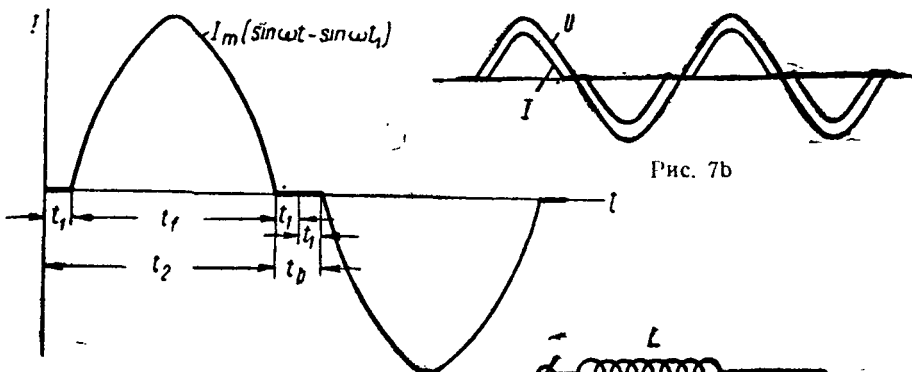


Рис. 7a

Рис. 7b

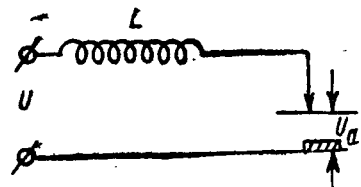


Рис. 8

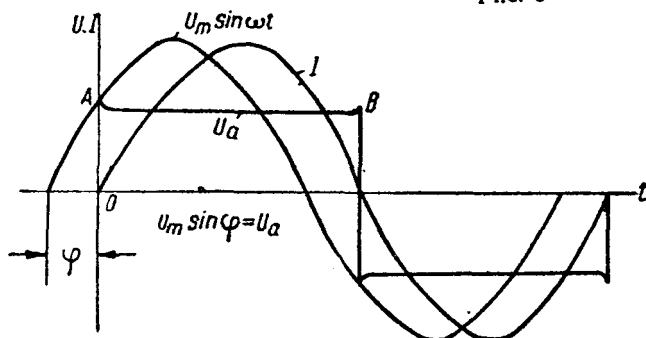


Рис. 9

Уравнение (8) можно, очевидно, переписать так:

$$I = -\frac{U_m}{\omega L} \cos(\omega t + \varphi) + \frac{U_a}{\omega L} \left(\frac{\pi}{2} - \omega t \right). \quad (8a)$$

Повторяем, это уравнение достаточно точно лишь для случая, когда угол φ значителен и, следовательно, возможно непрерывное горение дуги.

Как видно из уравнения (8a), кривая тока состоит из синусоиды, сдвинутой относительно напряжения на угол, близкий 90° . Амплитуда ее есть ток в цепи при наличии в ней лишь индуктивного сопротивления. Вторая составляющая кривой тока представляет собой треугольную линию; она опережает ток на 90° (рис. 10).

При анализе явлений в дуге нетрудно заметить, что искажения формы кривой тока и перерывы в дуге зависят от соотношения между напряжением зажигания дуги и напряжением источника тока. Для уяснения этого разберем три наиболее характерных случая.

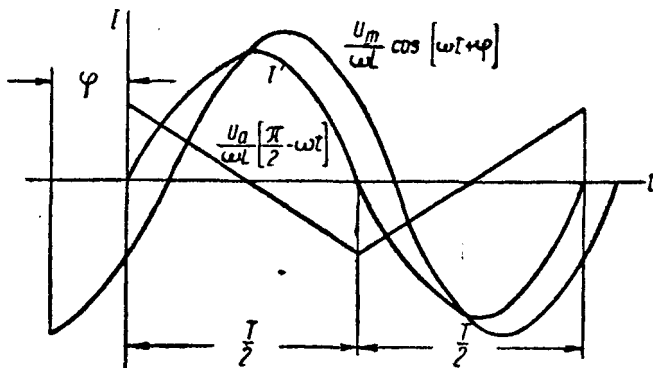


Рис. 10. $U = 55$ и $U_a = 23$ В; $I_m = 350$ А; $\omega L = 0,225$ Ω; $\cos \varphi = 0,465$

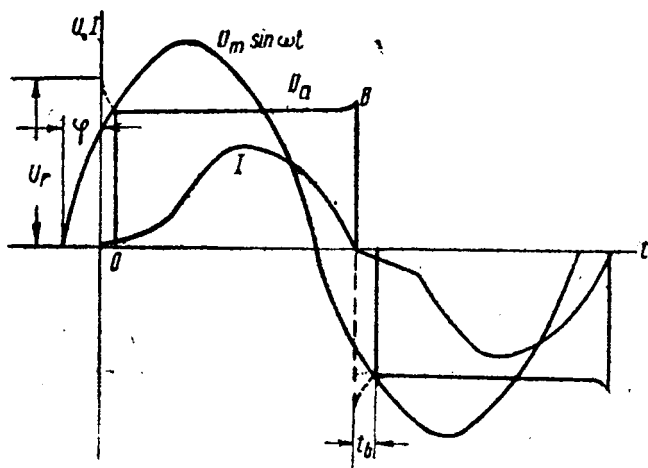


Рис. 11а. $U = 55$; $U_r = 50$ и $U_a = 44$ В; $\omega L = 0,195 \Omega$; $\cos \varphi = 0,89$; $t_b = 0,001$ sec



Рис. 11б

1. Напряжение зажигания и горения дуги значительно по сравнению с напряжением источника; графическое изображение описанного случая дано на рис. 11а, а осциллограмма — на рис. 11б.

2. Напряжение дуги и напряжение зажигания малы по сравнению с напряжением источника; построение и осциллограмма даны на рис. 12а и 12б.

3. Напряжение дуги в момент перехода тока через нуль равно напряжению источника — $U_a = U_m \sin \varphi$; графическое изображение такого предельного случая непрерывного горения дуги было приведено на рис. 9.

Из всего сказанного можно заключить, что для непрерывного горения дуги и минимального искажения кривой тока сварки необходимо, чтобы: 1) $\cos \varphi$ был достаточно мал, иначе говоря, индуктивность цепи была достаточно велика; 2) напряжение горения и зажигания дуги было по возможности меньше; 3) напряжение источника должно быть по возможности больше и по мере увеличения напряжения на дуге и уменьшения рабочих сил тока должно возрастать, как мы уже отмечали выше.

Определим, при каких значениях $\cos \varphi$ и индуктивности в цепи дуги переменного тока возможно получение непрерывного горения дуги при сварке.

Выше мы уже выяснили, что непрерывное горение дуги возможно при условии, что $\frac{U_a}{U_m} \leq \sin \varphi$.

Так как согласно (9) $\sin \varphi = \sqrt{1 - \frac{\pi^2}{4} \frac{U_a^2}{U_m^2}}$, то неравенство дает:

$$\frac{U_a}{U_m} \leq 0,54 \text{ или } U \geq 1,31 U_a,$$

где U — эффективное значение напряжения источника.

При выводе мы полагали, что $U_a = U_r$, что справедливо лишь для больших токов. Можно принять, что при средних токах $U_r \approx 1,4 U_a$, а при малых $U_r \approx 2 U_a$.

Тогда при учете пик зажигания получим, что для устойчивого и непрерывного горения дуги необходимо, чтобы

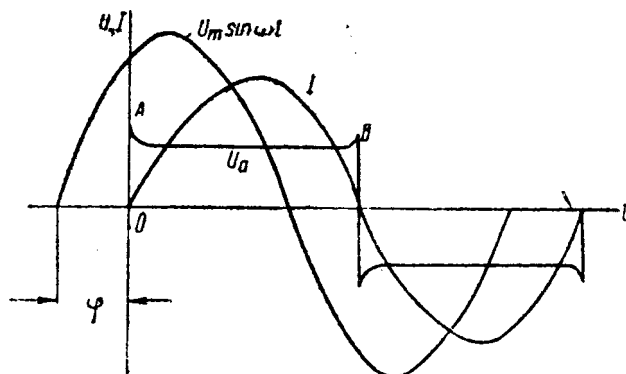


Рис. 12а. $U = 55$ и $U_r \approx U_a = 23$ В; $\omega L = 0,223 \Omega$; $\cos \varphi = 0,465$

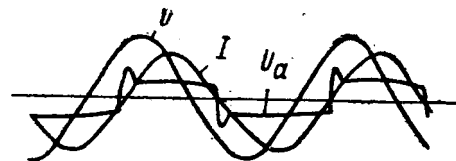


Рис. 12б

между напряжением дуги и эффективным напряжением источника существовало следующее соотношение:

$$U \geq (1,83 \div 2,62) \cdot U_a, \quad (10)$$

в котором меньшие значения соответствуют средним токам от 100 до 150 А, а большие даны для токов меньше 100 А.

Зная соотношение между U и U_a , нетрудно, пользуясь уравнением (9), определить максимальные значения $\cos \varphi$, при которых возможно устойчивое горение дуги:

$$\cos \varphi \leq 0,47 \div 0,6. \quad (11)$$

Меньшие значения относятся к малым токам (меньше 100 А), а большие — к токам больше 150 А.

Как показали опыты, при $\cos \varphi$ не более 0,35—0,45 возможно получить непрерывную дугу при любых значениях токов, практически применяемых при сварке.

На основании сделанного уже анализа нетрудно будет вывести основные соотношения для эффективных значений тока, напряжения и мощности в дуге переменного тока в цепи с наличием индуктивности.

Пользуясь известным выражением для эффективных значений и выражением (8а), находим:

$$J_e = \frac{U}{\omega L} \sqrt{1 - 1,17 k^2}, \quad (12)$$

$$\text{где } k = \frac{U_a}{U}.$$

Так как в течение полупериода горения дуги $U_a \approx \text{const}$, то

$$U_{ae} = U_a. \quad (13)$$

Эффективное значение мощности дуги:

$$P_{ae} = 0,9 \frac{U^2}{\omega L} k \sin \varphi, \quad (14)$$

откуда коэффициент мощности

$$\delta = \frac{P_{ae}}{U_{ae} I_e} = 0,9 \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 - 1,17 k^2}}. \quad (15)$$

Наличие коэффициента мощности объясняется, как и в случае дуги с последовательно подключенным омическим сопротивлением, тем, что кривые тока и напряжения на дуге отличаются от синусоид. δ колеблется в пределах 0,8—0,97, причем чем меньше коэффициент искажения, тем менее устойчива дуга.

Проводимость твердых диэлектриков в сильных электрических полях

CONDUCTIVITY OF SOLID DIELECTRICS IN STRONG ELECTRICAL FIELDS

Ф. А. Квитнер
ВЭИ

ЧТОБЫ провести наблюдения над остаточной проводимостью твердых диэлектриков в полях порядка 10^5 — 10^6 В/см, необходимо пользоваться веществами, обладающими малой электропроводностью при сравнительно низких температурах — это та область проводимости, которая в Смекалем [1] названа „областью проводимости искаженных мест“ (Lockerstellenleitung) и Л. Полем [2] областью Störleitung. Известно, что здесь на проводимость оказывают влияние мельчайшие загрязнения, термическое и механическое воздействия; здесь возникают поляризация и другие «диэлектрические аномалии» [3].

Число твердых тел, над которыми проведены более или менее надежные наблюдения в достаточно сильных полях, уже сравнительно велико: стекло, слюда, целлулоид, шеллак [4], полевой шпат, гипс [5], кварц [6], каменная соль и сильмин [7], оксиды алюминия, висмута, ниоба, тантала, титана, церия [8], бакелит и другие технические изолирующие материалы [9], лаковые пленки [10] и многое другое).

При всем разнообразии перечисленных материалов и несмотря на их в отдельных случаях очень различное поведение, для всех их характерно возрастание остаточной проводимости в этих полях. Величина повышения проводимости очень различна для разных материалов; у естественных кристаллов она больше, чем у кристаллов из расплава [7], она зависит от тепловой обработки [11] и т. д. Эта зависимость проводимости от поля может быть, правда, не всегда одинаково хорошо выражена формулой Пуля [4] $\lg \sigma = a + bE$, где b колеблется от 10^{-7} до $6 \cdot 10^{-6}$.

Мы отметим пока только как чисто экспериментальный результат, что большие отклонения от вышеприведенной формулы Пуля при низких температурах наблюдались до сих пор лишь у кристаллов (каменная соль, слюда), в то время как аморфные тела (стекло, лаковые пленки) и кристаллы при высоких температурах точно следуют этому закону. Совершенно ясно и на это же неоднократно было указано [12], что при этих условиях измерения, охватывающие очень большую область напряженности поля, не могут дать решающих данных относительно применимости или неприменимости закона Ома. Например, стекло или слюда, для которых константа b пулевской формулы имеет порядок 10^{-6} , обнаруживают соответственно этому при полях порядка 10 000 В/см повышение электропроводности на 2—3%, при 100 000 В/см — только на 20—30%, но при 10^6 В/см мы имеем уже повышение в десятки раз, как этого требует экспоненциальный закон Пуля. Несмотря на прототип этого факта, еще до последнего времени являются попытки, стремящиеся решить вопрос

о применимости закона Ома на основании опытов, в которых поля не превышали 10 — 15 000 В/см, а достигнутая точность измерений не составляла более 5% [13].

Еще до сего времени можно найти заявления такого рода, что закон Ома действителен с большой степенью точности в достаточно большом интервале полей, и... только при напряженности поля $0,5 \cdot 10^6$ В/см... начинаются заметные отклонения от закона Ома [14]. В действительности экспоненциальная формула Пуля, например для слюды, в области от 10^5 до $5 \cdot 10^5$ В/см так же пригодна, как от $5 \cdot 10^5$ В/см до нескольких миллионов В/см (см., например, ниже рис. 2), но отклонения при малых полях соответственно меньше.

До сих пор не было найдено ни одного диэлектрика, для которого при достаточной точности измерений была бы обнаружена независимость остаточной электропроводности от поля.

Одной из первых попыток объяснения [15] этой зависимости было предположение, что возрастание остаточной проводимости обусловлено относительным уменьшением напряжения поляризации в сильных полях и что при исключении поляризационных явлений будет действителен закон Ома. Однако после обстоятельной дискуссии это предположение было оставлено самим автором [15]. Немного погодя это представление вновь всплыло [16], и его пытались подкрепить измерениями начального тока на стекле и слюде при комнатной температуре. Эти опыты [16], находящиеся в определенной связи с высказываниями А. Ф. Иоффе [31], как было доказано дискуссионно и точными опытами, оказались методически неправильными; Усатой и Гохбергом [18] на слюде, А. Гольдгаммером [19] на стекле был подтвержден уже ранее известный факт [20], что начальный ток у этих диэлектриков не может быть определен посредством экстраполяции к моменту времени 0.

Опыт измерения начальных токов на гипсе и каменной соли не привел ни к каким результатам [21]. Наоборот, путем впервые точно приведенных измерений напряжений поляризации и истинной проводимости [22] на каменной соли было показано (рис. 1), что при температурах, при

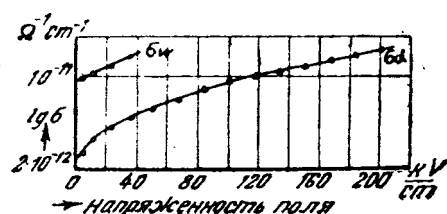


Рис. 1. Зависимость истинной σ и остаточной σ_0 электропроводности от напряженности поля для каменной соли (по работе Берана и Квитнера)

которых остаточная проводимость до $300\,000\text{ V/cm}$ увеличивается почти в 20 раз, истинная проводимость, измеренная с учетом напряжения поляризации, является только 3—4-кратной остаточной проводимости.

Если бы увеличение остаточной проводимости было вызвано только относительным уменьшением поляризации, то остаточная проводимость не могла бы стать больше истинной. Это так же, как и непосредственно измеренное увеличение истинной проводимости до полей $35\,000\text{ V/cm}$ показало, что уменьшением поляризационных напряжений у каменной соли нельзя объяснить зависимости остаточной проводимости от поля. Возражения [23], выдвинутые против этой работы, оказались неосновательными [24].

В частности, новые опыты А. Ф. Вальтера показали [25], что главное выдвинутое возражение, состоящее в том, что это явление наблюдается только в неоднородных кристаллах и что у сильно нагретых кристаллов зависимость электропроводности от поля исчезает, — несостоятельно. Таким образом было показано, что не только остаточная проводимость, но и истинная проводимость, получаемая с учетом поляризационных напряжений, зависит от поля, и измерения, которые пытались доказать действительность закона Ома для начальной проводимости, были методически неправильны. Поэтому объяснение увеличения остаточной проводимости относительным уменьшением поляризационных напряжений в сильных полях нужно считать опровергнутым.

Другая попытка объяснения использует тот неоспоримый факт [26], что в каждом реальном твердом диэлектрике, кроме Locker-мест, имеются и макроскопически дефектные места. Гохберг [27] предполагает, что в этих «местах включения», обусловленных загрязнениями, напряженность поля достигает значений, приводящих к ударной ионизации и, следовательно, к повышению электропроводности. Флехсиг [28], напротив, пытается объяснить возрастание проводимости нагретом тонких, плохо проводящих слоев (известно, что Джоулево тепло, выделяемое током в условиях однородного диэлектрика, не в состоянии вызвать повышения температуры даже порядка десятых градуса).

В основе обоих объяснений лежат предположения о многослойном диэлектрике и мнение, что наблюдаемое повышение остаточной и истинной проводимостей может быть отнесено за счет процессов в тонких слоях плохопроводящих загрязнений, но что при этом основное вещество кристалла подчиняется закону Ома.

Расчет, проведенный на основе простейшей слоистой модели [29], дал в первую очередь тот результат, что понятия «напряжения поляризации» и «истинной проводимости», даже когда мы их представляем возникшими только вследствие слоистости «классического» диэлектрика, имеют определенный физический смысл, что оспаривал Флехсиг [28]. Чтобы не вступить в противоречие с фактом существования независимых от структуры свойств кристалла, необходимо считать промежуточные слои очень тонкими. С другой стороны, для того, чтобы эта модель дала заметные значения напряжения поляризации, эти слои

должны проводить гораздо хуже, чем основное вещество кристалла, что само по себе очень вероятно.

Но тогда истинная проводимость с ошибкой значительно меньшей одного процента, действительно, будет проводимостью основного вещества кристалла, если напряжение поляризации измерено методом, данным нами [22]. Таким образом попытки объяснения Гохберга, Флехсига и др. отпадают, так как процессы в тонких слоях могут объяснить только повышение остаточной, но никак не истинной проводимости.

Что касается специальных представлений Гохберга [27], который целый ряд спорных вопросов высоковольтной поляризации и электропроводности сводит только к распределению загрязнений в материале — кристалле (теория вог-электродов), то, повидимому, весь цикл этих работ базировался на экспериментальной ошибке. Как мне известно, предпринятая в лаборатории Гохберга контрольная проверка метода измерения соотношения между Q^2 и P показала, что этот метод не может дать однозначных результатов. Это так же, как и другие обстоятельства, полученные в процессе проверки этих работ, позволяет эти исследования в общем и целом считать необнованными.

Если возрастание электропроводности с полем рассматривать как экспериментально безусловный установленный факт, то вопрос о природе этой проводимости, возникающей в сильных полях, встает как вопрос большой важности. Он, напротив, не имеет смысла, если отрицать существование такой добавочной проводимости. В случае если отклонения от закона Ома, действительно вызваны только относительным уменьшением поляризационных напряжений, природа электропроводности, естественно, не может зависеть от поля.

Когда более десяти лет назад был впервые поставлен вопрос о природе добавочной проводимости, для нас не было никаких сомнений в неприменимости закона Ома. Результат наших опытов, поставленных для решения вопроса о характере проводимости в высоких полях, состоял в том, что выполнимость закона Фарадея у стекла может быть подтверждена [30] до полей $1,5 \cdot 10^6\text{ V/cm}$. Это было истолковано Шиллером [32] таким образом, что те же ионы, которые обуславливают проводимость в слабых полях, определяют и добавочную проводимость. Тот факт, что природа проводимости в слабых и сильных полях для первого исследованного аморфного тела-стекла [30], и позднее для лаков [10] оказалась одинаковой, дал всем последующим появлявшимся попыткам объяснения направления электропроводности определенное направление. В частности, ложное приписывание эффекта напряжению поляризации могло возникнуть только на основании такого положения вещей.

Большие экспериментальные трудности, мешавшие изучению характера проводимости кристаллов, сделали то, что необходимое дополнение к нашим прежним результатам с аморфными телами, именно исследование кристаллов, могло быть проведено только теперь. Первый определен-

результат дала новая работа В. Пружининой-Грановской. Она показала, кроме прочего, что слюда, которая вообще является смешанным проводником, при температуре около 425° и в слабых полях представляет собой ионный проводник, у которого в сильных полях возникает добавочная чисто электронная пулевская проводимость (рис. 2). Сравнительно большая удельная проводимость слюды (10^{-9} — 10^{-10} $\Omega^{-1}\text{см}^{-1}$) при этих температурах, благодаря которой только и возможно было провести достаточно точные измерения переноса массы, имеет, однако, еще другое очень важное значение. При такой температуре и проводимости поляризационные напряжения, как известно [33], практически уже полностью исчезают, и остаточная проводимость, измеренная В. Пружининой-Грановской, совпадает с истинной проводимостью. Уже одно найденное при 425° повышение истинной проводимости в 4 раза при полях до 10^6 В/см является новым несомненным доказательством недействительности закона Ома и для истинной проводимости слюды. Причиной этих отклонений является добавочная электронная проводимость, которая в соответствии с законом Пуля возникает уже при 10^5 В/см, в то время как первоначальная ионная проводимость остается практически неизменной.

Кроме исследований со слюдой, были проведены еще опыты с двумя другими кристаллами — кварцем и каменной солью, — которые, однако, не дали еще окончательных результатов. Тем не менее и в этом случае результаты качественно аналогичны результатам со слюдой. Также и здесь при высокой температуре и слабых полях мы имеем преимущественно ионную проводимость и примерно выполняемость закона Фарадея. В сильных полях (в этом случае мы можем проводить измерения только при низкой температуре) закон Фарадея не выполняется, и весьма вероятно предположение, что мы имеем смешанную проводимость, электронная доля которой увеличивается с полем.

Если мы добавим к этому еще наблюдение Гюнтершульце (8) на кристаллических окислах металлов, установившего качественно, что у них в сильных полях электронная проводимость, то к достаточно большой вероятностью можно заключить, что в кристаллах добавочная пулевская проводимость вообще имеет электронный характер. Напротив, пулевская проводимость всех до сих пор изученных аморфных тел, как было уже упомянуто, является электролитической. Этот результат не является неожиданным. Движение электронов в стеклообразных телах, в которых нет сплошных энергетических зон, сильно затруднено или вообще невозможно. Движение электронов в изолирующих ионных кристаллах, напротив, в настоящий момент и теоретически и по экспериментальным данным Поля — достаточно известное явление.

Для толкования найденных закономерностей имеет чрезвычайно большое значение вопрос, который до сих пор еще не мог быть однозначно разрешен. Это вопрос о зависимости по-

стоянной B в уравнении Вант-Гоффа $\sigma = Ae^{-\frac{B}{T}}$, выражающем зависимость электропроводности от температуры в области низких температур.

Если даже в случае электролитической проводимости смысл константы B недостаточно ясен, то все же она должна быть как-либо связана с работой диссоциации электронов и ионов.

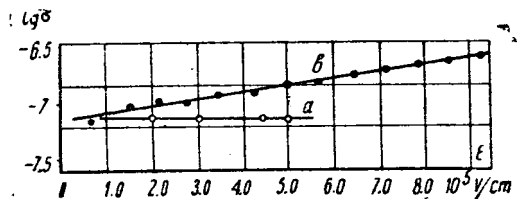


Рис. 2. Зависимость электропроводности слюды от напряженности поля при температуре 426° . a — ионная; b — ионная плюс электронная проводимость (по работе Пружининой-Грановской, печатается в Sow. Phys.)

Измерения до сих пор давали всегда понижение B по мере увеличения поля, хотя и лежащее близко к границе точности опытов. Более старые наблюдения Пуля были произведены над стеклом, причем наблюдалось уменьшение константы B на 14% (от 10900 до 9600) при $6 \cdot 10^5$ В/см. Совершенно аналогичное явление наблюдал Шиллер у стекла при $5,4 \cdot 10^5$ В/см. У каменной соли мы [22] наблюдали понижение в 5% при поле $2 \cdot 10^5$ В/см. Новые измерения Пружининой-Грановской над слюдой при слабых полях согласуются с этими результатами и дополняют их значениями при полях, превышающих 10^6 В/см, где константа B с напряженностью поля изменяется весьма значительно и приблизительно линейно. К сожалению, все эти результаты получены только для остаточной проводимости, и можно только предполагать, что картина в существенном остается неизменной и для истинной проводимости. Но тем не менее это обстоятельство принуждает нас к осторожности при оценке этих результатов.

Мы можем с удовлетворением констатировать, что в процессе дискуссии наши воззрения подтвердились целиком и полностью. Тем не менее многочисленные попытки опровергнуть наше мнение были не совсем бесплодными; они заставили нас тщательными исследованиями выяснить все спорные вопросы, так что теперь мы довольно отчетливо видим все главные факты этой темной области физики. Теперь, однако, пора учесть все эти результаты и признать, что возрастание проводимости твердых диэлектриков в сильных полях является экспериментально надежно установленным фактом, который теория электропроводности должна объяснить так же, как, например, зависимость электропроводности от температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Смекаль, Z. f. techn. Phys. 8, 561, 1927.
2. Лефельд, Z. f. Phys. 85, 717, 1933.
3. Е. Швайдлер, Ann. d. Phys. 24, 711, 1907; С. В. Ричардсон, Proc. Roy. Soc. London (A) 92, 41 и 101, 1916.
4. Пуль, Phil. Mag. 32, 112, 1916; 34, 195, 1917; 42, 488, 1921.
5. Шиллер, Ann. d. Phys. 81, 32, 1926; 83, 137, 1927.

6. В. Уитмен, Journ. Opt. Soc. Amer. 12, 11, 1926.
7. Ф. Квитнер, Z. f. Phys. 16, 597, 1929.
8. А. Гюнтершультце и Бетц, Z. f. Phys. 91, 70, 1934; 92, 367, 1934.
9. А. Габлер, Arch. f. Electrot. 14, 408, 1925.
10. Ф. Квитнер и В. Пружинина, Sow. Phys. 9, 41, 1935.
11. А. Смекаль и Ф. Квитнер, Verh. d. deutsch. Phys. Ges. (3) 9, 37, 1928; позднее Б. Гохберг, Z. f. Phys. 70, 635, 1931.
12. Ф. Квитнер, Z. f. Phys. 74, 344, 1932.
13. Вендерович и Дризина, Z. f. Phys. 98, 108, 1935.
14. А. Иоффе, Bull. de l'Acad. d. Sc. U. S. S. R. (Phys.) № 1—2, 149, 1936.
15. Шиллер, Ann. d. Phys. 74, 106, 1924; 81, 32, 1926; Z. f. Phys. 6, 588, 1925.
16. К. Синельников и А. К. Вальтер, Z. f. Phys. 40, 786, 1927.
17. Шиллер, Z. f. Phys. 42, 246, 1927; А. Иоффе, Z. f. Phys. 48, 288, 1927; Шиллер, там же, 50, 577, 1928.
18. Усатая и Гохберг, Z. f. Phys. 46, 88, 1927.
19. А. Гольдгаммер, Sow. Phys. 5, 525, 1934; сравни при этом Ф. Квитнер, Sow. Phys. 6, 319, 1934.
20. Ф. Квитнер «Журнал экспериментальной и теоретической физики» 2, 108, 1932.
21. Залесский, Z. f. Phys. 52, 695, 1928; А. Гольдгаммер, Sow. Phys. 5, 553, 1934 и к этому Ф. Квитнер, Sow. Phys. 6, 319, 1934.
22. О. Беран и Ф. Квитнер, Z. f. Phys. 64, 760, 1930.
23. Б. Гохберг, Z. f. Phys. 70, 635, 1931.
24. Ф. Квитнер, Z. f. Phys. 74, 344, 1932.
25. А. Ф. Вальтер и Л. Д. Инге, «Журнал технической физики» 6, 141, 1936. Известия Акад. Наук, серия физическая № 4, 561, 1936.
26. Д. Селей, Z. f. Phys. 29, 125, 1926.
27. Б. Гохберг, Z. f. Phys. 70, 635, 1931.
28. Флехсиг, Hand- u. Jahrbuch d. chem. Phys. Bd. I, часть II, 1933.
29. Ф. Квитнер, Sow. Phys. 8, 275, 1935.
30. Ф. Квитнер, Sitzungsber. der Akad. d. Wiss. in Wien 136 (11a), 151, 1927; Ann. d. Phys. 85, 745, 1928.
31. Стенограф. отчет 2-й конференции по изолирующим материалам в Москве 1931 г. Речь А. Ф. Иоффе.
32. Шиллер, Ann. d. Phys. 81, 32, 1926; 83, 137, 1927.
33. Б. Гохберг и В. Иоффе, Z. f. Phys. 66, 172, 1930; О. Беран и Ф. Квитнер, ц. в.; Смекаль, Handb. d. Physik. Ed., 24/II 1935.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВЕ

Реле для автоматического защитного выключения при замыкании на корпус

AUTOMATIC SWITCHING-CF BY MEANS OF EARTH-FAULT PROTECTIVE RELAY

С. В. Соколов

Ленинградский институт охраны труда

АВТОМАТИЧЕСКОЕ защитное выключение применяется в установках низкого напряжения вместо защитного заземления или зануления и предназначается для быстрого отключения объектов установки от питающей сети при замыкании на корпус, сопровождаемом появлением на корпусе, а также на связанном с ним металлически станке, механизме и пр. опасного по величине напряжения прикосновения. Корпус объекта, снабженного такой защитой, соединяется с землей через катушку в автоматическом выключателе или же через специальное реле, как это предлагается автором.

Защиты автоматическим выключением и заземлением корпуса существенно отличаются величиной сопротивления заземления, необходимого в том и другом случае, и значением токов, протекающих через эти заземления в момент аварии, что является главным фактором, определяющим технико-экономическую сторону вопроса при выборе между этими защитными мерами. Сравнение обеих этих защитных мер не входило в задачу настоящей статьи, ставящей целью лишь описать разработанное нами высокочувствительное реле переменного тока и схему, предлагаемые для автоматического быстрого действующего защитного выключения, исключающего необходимость в устройстве защитного заземления корпусов машин и прочих нетокопроводящих частей установок.

Автоматическое защитное выключение находит большое распространение за границей. В Германии уже несколько фирм выпускают необходимую для этого аппаратуру¹. У нас в СССР, насколько известно², такая защита находит пока весьма ограниченное применение.

Необходимость в защите автоматическим выключением становится особенно актуальной в связи с распространением

сетей на 380/220 В. Устройство надежного защитного заземления в этом случае и поддержание его в должном состоянии во время эксплуатации, особенно при неблагоприятных почвенных условиях, могут представить большие технические и экономические затруднения по сравнению с защитой автоматическим выключением.

Быстрое отключение поврежденного объекта, помимо предупреждения электрической травмы, является необходимым и в тех случаях, когда замыкание на корпус может и не повести к поражению электрическим током, но может вызвать потрясения, часто достаточные, чтобы повести к дополнительной опасности: поранение движущимися частями машины падение с высоты и т. п. Эти травмы имеют на практике не малое значение³.

Схема, устройство и принцип действия реле. Рассмотрим действие предлагаемого реле в схеме электродвигателя. На рис. 1 представлена схема реле и включение его в рабочую цепь и цепь управления электродвигателя трехфазного тока. Реле присоединяется к рабочей цепи электродвигателя в той ее части, которая не будет под напряжением после выключения автомата 1. Этим достигается полное отключение и самого реле при остановке или защитном выключении электродвигателя.

Пуск электродвигателя в рассматриваемой схеме производится нажатием кнопки 3. При этом одновременно с электродвигателем приключается к его цепи и реле. При нажатии кнопки 5 одновременно с замыканием цепи включающей (или удерживающей) катушки 2 автомата 1 замыкается цепь удерживающей катушки реле 3, возбуждаемой постоянным анодным током.

Рабочее выключение электродвигателя производится нажатием кнопки 6.

¹ Т. С. Gilbert, Artificial Earthing for Electrical Installation, стр. 88.

² Проф. Л. Н. Слонимский, Электрификация торфо-разработок. Часть 1, стр. 307, 1935.

³ С. А. Пресс, Электрические установки, стр. 64, 1930.

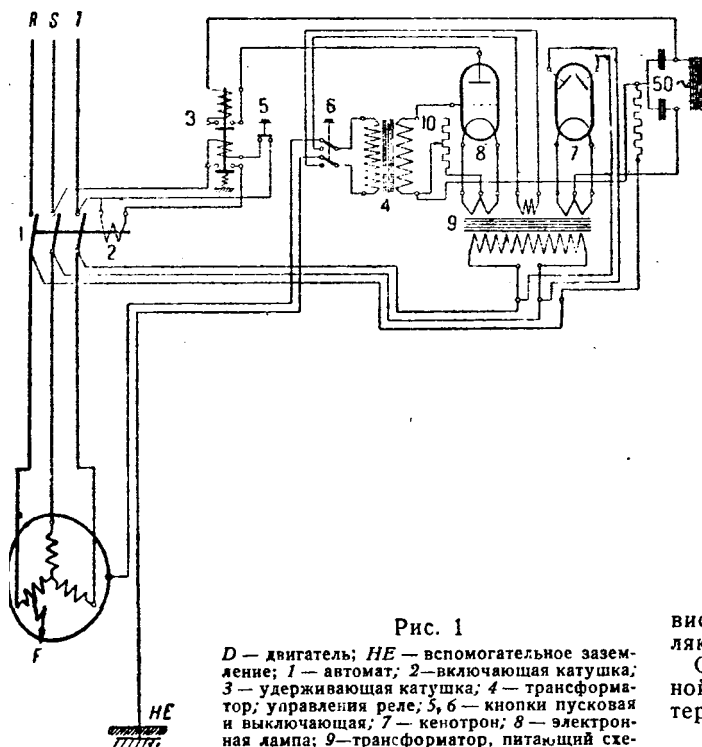


Рис. 1

D — двигатель; *HE* — вспомогательное заземление; *1* — автомат; *2* — включающая катушка; *3* — удерживающая катушка; *4* — трансформатор; *5, 6* — кнопки пусковая и выключающая; *7* — кенотрон; *8* — электронная лампа; *9* — трансформатор, питающий схему; *10* — реостат

Этой же кнопкой осуществляется контрольное выключение для проверки защитного действия реле. При нажатии кнопки первичная обмотка трансформатора 4 переключается на обмотку контрольной обмотки равно предельному допустимому напряжению прикосновения. Положение контактов кнопки, показанное на схеме, является "защитным". В это положение контакты возвращаются автоматически всякий раз после нажатия кнопки.

Защитное отключение электродвигателя произойдет при замыкании на корпус в любой из фаз его обмотки, в том случае, если напряжение корпуса по отношению к земле будет равно или выше допустимого. Это выключение реле исполнит независимо от того, перейдет ли замыкание на корпус в замыкание на землю или же нет, как это может быть место при изолированно установленном корпусе.

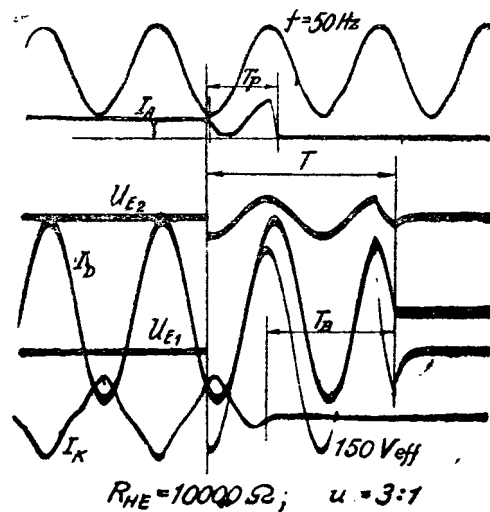
Кроме того, схема и реле разработаны таким образом, что двигатель автоматически выключается не только при замыкании на корпус, но и при: а) неисправном состоянии любого элемента защитной схемы (автоматический контроль защиты); б) обрыве фаз питающей сети, — защита от однофазной работы; в) исчезновении или сильном падении напряжения в сети, нулевая защита; г) различных внутренних повреждениях в электродвигателе, сопровождающихся падением напряжения.

Принцип действия реле следующий.

До момента замыкания на корпус анодный ток лампы 8, возбуждающий удерживающую катушку реле 3 постоянно измеряется ordinатой I_A осциллограммы рис. 2. При появлении на корпусе электродвигателя *D* некоторого напряжения U_E по отношению к земле потенциал сетки, соединенной со вторичной обмоткой трансформатора 4, будет изменяться. Вместе с ним будет изменяться и анодный ток I_A , как это видно на рис. 2. В результате последующего изменения магнитного потока удерживающей катушки реле 3 якорь его под влиянием пульсирующей удерживающей силы придет в колебательное движение и отпадает под действием собственного веса и пружины. При падении якоря контактная траверза его разомкнет цепь удерживающей катушки 2 автомата 1 (рис. 1) и цепь анодного тока. Таким образом двигатель, получивший замыкание на корпус, будет отключен от сети. Одновременно будет отключено и реле.

Время, необходимое для отпадения якоря, зависит от величины пульсирующей составляющей удерживающей силы катушки, которая в свою очередь зависит от степени изменения потенциала сетки.

Таким образом характер процесса изменения анодного тока I_A и связанное с ним время срабатывания реле T_p за-



$R_{HE} = 10000 \Omega$; $u = 3:1$

Рис. 2

висит в конечном счете от величины напряжения U_E , появляющегося при замыкании на корпус.

От величины U_E зависит напряжение U_A и U_G электронной лампы 8, определяющие собой ту динамическую характеристику

$$Y_A = f(U_A, U_G)$$

по которой будет протекать рабочий процесс электронной лампы при замыкании на корпус. Благодаря реактивному сопротивлению в анодной цепи (катушка реле 3) динамическая характеристика лампы усложнится еще влиянием сдвига фаз между анодным током и падением напряжения на аноде и напряжением сетки.

На осциллограмме рис. 2 I_K — ток выключающей катушки 2, а I_D — рабочий ток электродвигателя. Масштаб времени дан кривой $f = 50 \text{ Hz}$.

Защитные характеристики. Известно, что одним из главных факторов при поражении электрическим током является время воздействия тока на организм. Следовательно, автоматическая выключающая защита прежде всего должна быть достаточно быстросрабатывающей. Во-вторых, защита должна срабатывать при всех напряжениях U_E , начиная от некоторого нижнего предела, при котором напряжение прикосновения U_B не превосходит допустимое нормами.

Большая скорость срабатывания такой защиты требуется, главным образом, в самом неблагоприятном случае, когда работающий персонал, по условиям работы, находится в постоянном или длительном соприкосновении с корпусом (электрические дрели, различные электрические инструменты, станки и механизмы с индивидуальным приводом от электродвигателя, монтированного на общей станине, и т. п.). Во всех же остальных случаях время срабатывания не имеет такого существенного значения, так как слишком мала вероятность совпадения двух несвязанных между собой событий: прикосновение к корпусу и появление на нем опасного потенциала на время, пока сработает защита, т. е. на сотые доли секунды.

Таким образом в случае постоянного или длительного соприкосновения работающего персонала с корпусом назначение защиты — ограничить время воздействия тока на организм, отключив поврежденный объект в возможно короткое время. Во всех же остальных случаях роль защиты сведется к отключению поврежденного объекта в достаточно короткий промежуток времени. Последняя задача, очевидно, несложная и совершенно исключается при положительном разрешении первой.

Перейдем теперь к рассмотрению временной характеристики предлагаемого реле.

В схеме рис. 1 параметры цепи удерживающей катушки электромагнитного реле 3 необходимо рассматривать как одно целое с параметрами анодной цепи лампы 8. Поэтому, не выделяя отдельно промежуток времени, измеряющегося десятитысячными долями секунды, от момента поступления импульса в трансформатор 4 до начала изменения анодного тока, будем считать временем срабатывания реле T_p (рис. 2) промежуток времени от момента замыкания на корпус до начала размыкания контактов цепи включающей катушки 2.

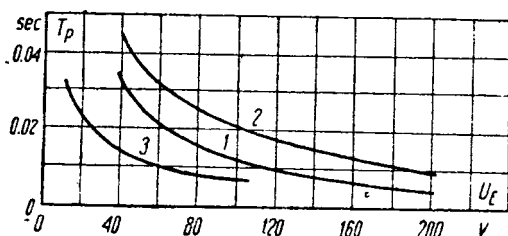


Рис. 3. $T_p = f(U_E)$ при $I_A = 22$ мА, 1 — $R_{HE} = 1000$ Ом; $u = 3:1$; 2 — $R_{HE} = 1000$ Ом; $u = 3:1$; 3 — $R_{HE} = 1000$ Ом; $u = 1:3$

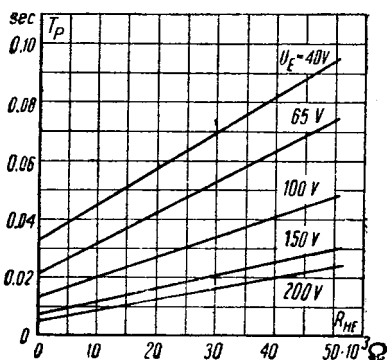


Рис. 4. $T_p = f(R_{HE})$ при $I = 22$ мА и $u = 3:1$

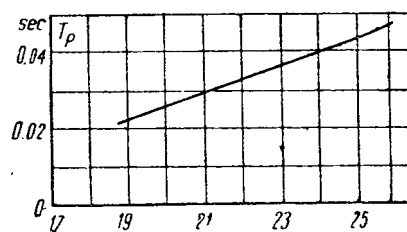


Рис. 5. $T_p = f(I_A)$ при $U_E = 40$ В, $R_{HE} = 1000$ Ом и $u = 3:1$

Практически в этот же момент происходит размыкание цепи анодного тока ($I_A = 0$, рис. 2), так как цепь удерживающей катушки реле 3 и цепь включающей катушки 2 размыкаются одной и той же контактной траверзой. Если не выделять отдельно время срабатывания катушки 2, то полное время срабатывания, которым будет измеряться время существования потенциала на корпусе по отношению к земле:

$$T = T_p + T_B,$$

где T_B — собственное время автоматического выключателя 1. Предлагаемое реле в схеме защиты рис. 1 имеет следующие основные защитные характеристики.

$T_p = f(U_E)$ при $R_{HE} = \text{const}$ и $I_A = \text{const}$ время срабатывания реле в зависимости от напряжения корпуса U_E по отношению к земле при постоянном сопротивлении вспомогательного заземления и анодного тока. При исследовании схемы U_E изменялось от допускаемого нормами напряжения прикосновения, при котором начинает срабатывать реле, почти до номинального напряжения установки, обслуживаемой реле. На рис. 3 эта характеристика дана для двух значений коэффициента трансформации трансформатора 4, получаемых переменной ролями его обмоток.

На рис. 4 дана другая основная характеристика $T_p = f(R_{HE})$ при $U_E = \text{const}$ и $I_A = \text{const}$.

Третья основная характеристика реле $T_p = f(I_A)$ при $U_E = \text{const}$ и $R_{HE} = \text{const}$.

На рис. 5 представлена эта зависимость.

На рис. 6 приведена зависимость $T = f(U_E)$ полного времени срабатывания всей защитной схемы.

Собственное время действия реле, максимальное из большого числа опытов, — $T_B = 0,028$ сек, наименьшее значение $T_B = 0,020$ сек. В этих же пределах обычно и находится время T_B автоматов, предназначенных для защиты электродвигателей в низковольтных установках. По данным исследования проф. Rudenberg⁴ при выключении токов к. з., даже порядка 30 000 А, в установках 380 В время $T_B = 0,035$ сек, включая и время горения дуги (0,011 сек). Практически можно считать, что полное время действия рассматриваемой схемы $T = 0,03 \text{ сек} + T_p$.

Наибольшее время срабатывания, соответствующее нижнему пределу напряжения U_E , $T = 0,045 - 0,060$ сек (рис. 6). Время же выключения автоматов на подстанциях при замыкании на корпус в установках, имеющих защитное заземле-

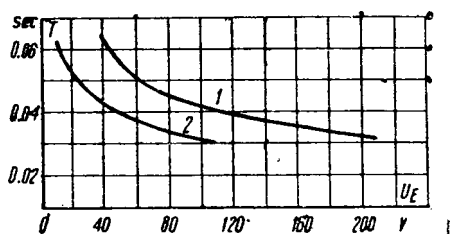


Рис. 6. $T = f(U_E)$ при $I_A = 22$ мА и $R_{HE} = 1000$ Ом. 1 — $u = 3:1$; 2 — $u = 1:3$

ние или зануление по данным О. Löbl⁵ колеблется в зависимости от напряжения по отношению к земле в пределах от 1 сек до 0,5 мин. Приводя эти данные, О. Löbl отмечает большое преимущество автоматического защитного выключения перед защитным заземлением или занулением как отношении несравненно большей скорости действия защиты а следовательно, и большей безопасности, так и в отношении селективности отключения аварийных объектов установки.

Для характеристики чувствительности реле может служить величина силы тока I_0 , в первичной обмотке трансформатора 4, при которой начинает срабатывать реле. При коэффициенте трансформации $U = 1:3$, $I_0 = 0,1$ мА. Такая высокая чувствительность делает реле почти электростатически управляемым и дает возможность использовать его помимо данной защиты, в тех случаях, когда необходимо бесконтактно воздействовать на мощные исполнительные цепи. Однако реле все же не будет срабатывать от посторонних влияний, например грозовых разрядов в случае сельскохозяйственных установок, так как оно реагирует при вполне определенном чередовании импульсов, соответствующих промышленной частоте тока. Статические заряды на корпусе также не будут влиять благодаря трансформаторной связи корпуса с сеткой лампы.

Обладая такими характеристиками, реле отключит данный объект установки, если в нем замыкание на корпус перейдет в замыкание на землю, даже при наличии защитного заземления, которое при той или иной аварии не в состоянии будет понизить напряжение U_E до пределов, обеспечивающих допускаемое нормами напряжение прикосновения. Таким образом при наличии такого реле возможно устройство комбинированной защиты: 1) автоматическое защитное выключение с защитным заземлением и 2) автоматическое защитное выключение с автоматическим выключением на подстанции. В первом случае защитное заземление будет получаться и более облегченным. Во втором же случае может быть получена большая селективность в отключении аварийных приемников без выключения сети.

В дополнение к перечисленным характеристикам следует добавить, что реле:

а) дает возможность контролировать в любой момент установку на заданное напряжение корпуса по отношению к земле нажатием кнопки б;

б) имеет автоматический контроль исправного состояния всей защитной схемы, а именно — при повреждении любого элемента схемы, перегорании лампы или потере эмиссии в пр., реле автоматически отключает данный объект установки;

в) исключает возможность пуска вновь до устранения причины, вызвавшей отключение;

г) не вносит собою никакого дополнительного элемента опасности, будучи применено к любой системе сетей в установках; благодаря трансформатору 4 корпус D разобщается электрически со схемой;

д) не требует ухода в эксплуатации, исключая простую замену ламп, которым в данной схеме объяснен очень большой срок службы.

По данным О. Löbl⁶ автоматические защитные выключатели имеют время срабатывания $T = 0,02 - 0,05$ сек. Сила тока,

⁴ "Е. и М." № 14 и 15, 1933 (реферат в "Энергетическом обозрении" № 10, 1933).

⁵ Oskar Löbl. Erdung, Nullung und Schutzschaltung. Berlin 1933, стр. 89, 91.

⁶ См. сноску 3.

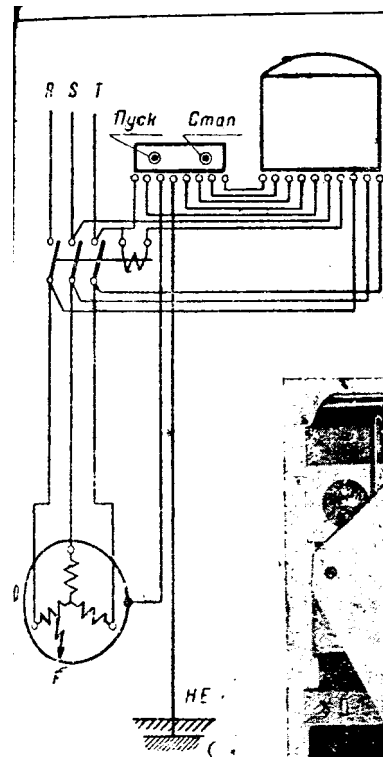


Рис. 7

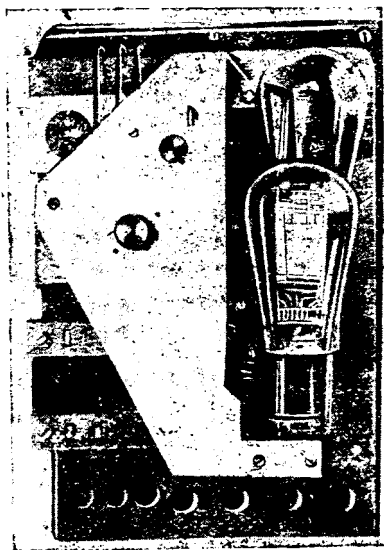


Рис. 8

при которой они начинают срабатывать, — $I_0 = 50$ мА, т. е. несколько сот раз больше, чем предлагаемое реле. От этого зависит в значительной степени и влияние сопротивления вспомогательного заземления R_{HE} на работу этих выключателей. Например, по данным того же автора, автоматический защитный выключатель при $U_E = 40$ В не срабатывает, если $R_{HE} > 600$ Ω. При $R_{HE} = 1000$ Ω необходимо,

чтобы $U_E = 67$ В. Предлагаемое реле при $U_E = 40$ В срабатывает даже при $R_{HE} = 100\,000$ Ω.

Такая высокая чувствительность реле достигается отнюдь не за счет какого-либо деликатного механизма в автоматическом выключателе, или реле, воздействующего на автомат. Напротив, реле воздействует на автомат простым размыканием цепи нулевой или же включающей катушки. Механизм же управления от встроенного электромагнитного реле в заграничных автоматических выключателях по системе Heinsch — Riedl является достаточно сложным. Это в значительной степени при отсутствии в них автоматического контроля понижает их надежность срабатывания в должный момент. Данного же рода защита по существу своего назначения должна также автоматически производить выключения в случае каких-либо дефектов в самой защите, как и в случае замыкания на корпус. Это требование почти в полной мере удовлетворяется предлагаемым реле и схемой.

Большое преимущество отдельного реле заключается еще и в том, что оно может быть поставлено к любому установленному уже автоматическому выключателю, имеющему нулевую или же включающую катушку. Таким образом может быть легко осуществлено дооборудование существующей уже максимальной защиты электродвигателей и прочих приемников автоматическим защитным выключением при замыкании на корпус и всеми вышеперечисленными защитными функциями, которые предлагаемое реле выполняет, помимо защиты при замыкании на корпус.

Чрезвычайно важно использовать кнопку 6 рис. 1, служащую для периодического контроля установки реле, еще и для выключений электродвигателя по требованиям технологического процесса. Поэтому кнопка 6 должна быть введена как кнопка «стоп» в схему управления двигателем. Схема включения реле при этом требовании и в случае дистанционного управления двигателем показана на рис. 7.

Конструктивно реле выполняется в виде одного блока.

На передней грани кожуха реле выступает кнопка — «выключение». Это — кнопка 6 (рис. 1), служащая для контроля и каждый раз для остановки.

На фото рис. 8 показано реле при снятом кожухе. Масштабом для суждения о его размерах может служить видимая на фотографии нормальная радиолампа. При изготовлении показанного образца были использованы с некоторыми переделками стандартные детали, применяемые в любительской радиотехнике. В качестве электронного реле взята лампа типа УО-104, кенотроном является лампа типа ВО-116 или 2В-400. При анодном токе в данной схеме около 25 мА срок службы ламп очень большой; в описываемом образце уже в течение почти двух лет непрерывно работают одни и те же лампы.

АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА

Телеуправление освещением улиц¹

STREET LIGHTING DISTANT CONTROL SYSTEM

И. Н. Бегунов

Ленинград

ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ расширение территории реконструируемых крупных городов — Москвы, Ленинграда, Киева и др. — ставит на разрешение вопрос о централизованном и дистанционном управлении освещением городских улиц.

Обычное включение вручную освещения улиц из самостоятельных пунктов, разбросанных по тер-

ритории города, число которых в отдельных случаях, как, например, в Ленинграде, достигает 300, требует значительного времени, иногда даже около одного часа.

При управлении вручную отсутствует автоматическая сигнализация об авариях в распределительных устройствах низкого напряжения, обслуживающих сеть освещения. Это сопряжено с длительными перерывами в освещении при авариях на время, необходимое для извещения о происшедших авариях и выяснение характера их.

¹ Краткое изложение работы, выполненной в 1936 г. Энергетическим отделом Ленинградского научно-исследов. института коммунального хозяйства, руководимым А. Г. Ремешевским.

Эти основные недостатки ручной системы включения заставляют перейти к более совершенным методам управления и контроля, использующим средства автоматики и телемеханики.

Данная задача ставится в разрезе индивидуально-централизованного дистанционного управления и контроля отдельными пунктами включения освещения улиц. Если часть этой задачи — централизованное управление, может быть решена весьма просто централизованным питанием светильников от самостоятельной сети, то дистанционный контроль за состоянием оборудования пунктом включения и аварийная сигнализация требуют уже индивидуальной передачи сигналов из каждой контрольной точки и распределительного пункта.

Эти соображения были положены в основу работы бригады сотрудников Ленинградского научно-исследовательского института коммунального хозяйства, разработавшей систему телеуправления освещением улиц Ленинграда, сообщению о которой и посвящена данная работа.

Не касаясь вопросов чисто организационного характера управления освещением, перейдем сразу к описанию технической сущности данной системы.

Система предполагает в качестве линии связи использование жил городской телефонной сети, считая одну пару жил на каждый пункт получения.

Трестом Ленсвет, как организацией, эксплуатирующей освещение улиц Ленинграда, был выдвинут ряд технических требований, из которых приводим лишь наиболее существенные.

1. Телеуправление должно быть централизовано в пределах района и осуществлять дистанционное управление, контроль и аварийную сигнализацию 30 пунктами района.

2. В каждом пункте включения устанавливается дистанционно-управляемый контактор, включающий и выключающий освещение улиц. Положение контактора должно контролироваться на расстоянии.

3. Каждый пункт включения, представляющий собою распределительный пункт, имеет до 12 низковольтных предохранителей, перегорание которых должно автоматически сигнализироваться на районный пункт управления. Исчезновение напряжения в пункте включения с питающей стороны должно также автоматически сигнализироваться на районный пункт.

4. Аварии с линией связи и с элементами схемы телеуправления не должны самопроизвольно влиять на положение контактора уличного освещения. Кроме того, эти аварии по возникновению должны тем или иным способом отмечаться в районном пункте.

5. Схема телеуправления должна допускать возможность осуществления телефонной связи районного пункта с пунктом включения по тем же жилам телеуправления.

6. Устройства телеуправления могут иметь централизованное питание постоянным током, например, с районного пункта. Установка особых источников питания в пунктах включения освещения улиц не допускается.

Рассматриваемая ниже схема телеуправления (рис. 1) однопроводная, использующая в качестве обратного провода землю. По этому проводу осуществляются две линейные цепи: постоянного и переменного тока. Цепь постоянного тока, питаемая от соответствующего источника, установленного на районном пункте, служит для управления выключателем освещения улиц, для контроля за состоянием линии связи телеуправления и перегорания силовых плавких вставок пункта включения и для осуществления телефонной связи между районным пунктом управления и пунктом включения. Цепь переменного тока, питаемая от вспомогательных трансформаторов со стороны выключателя освещения, служит для сигнализации происшедших изменений в линии связи и оборудовании пункта включения, для сигнализации исчезновения и появления напряжения переменного тока в пункте включения и для контроля положения выключателя освещения улиц. Разделение этих цепей осуществляется схемой Ван-Риссельберга, применяемой в телеграфии.

Схема районного пункта состоит из двух частей: относящейся к каждому пункту включения и части общей для всех пунктов включения. Оборудование, общее для всех пунктов включения: питающее и токораспределительное устройство постоянного тока (на схеме не показанного), микрофонное устройство МТУ для телефонной связи с пунктами включения, реле Р17 и Р18 для включе-

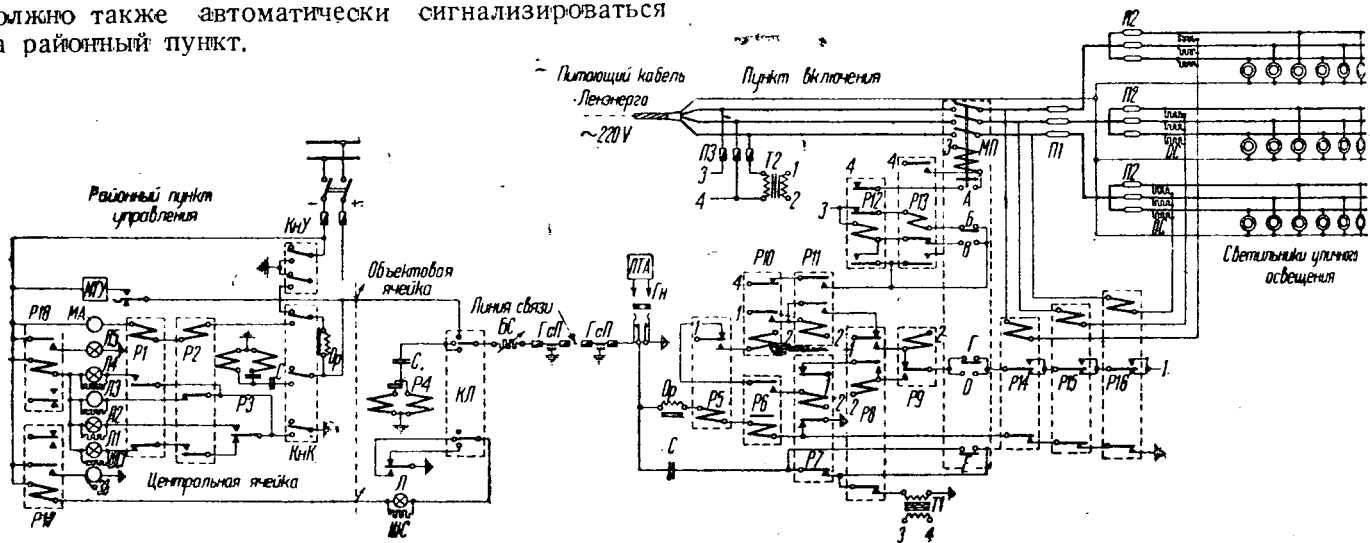


Рис. 1

общего акустического и оптического сигнала, реле *P1*, для определения заземления линии связи, реле *P2* для определения обрыва линии связи, реле переменного тока *P3* для определения наличия или отсутствия напряжения переменного тока в пункте включения и для определения положения выключателя освещения улиц, разделительный дроссель *Др*, разделительный конденсатор *С*, контрольный миллиамперметр *МА*, сигнальные лампы *Л1*, *Л5*, звонок *Зв* и шунтирующие сопротивления *ШС1*. Оборудование, относящееся к каждому пункту включения: ключи *Кл*, реле переменного тока *P4*, сигнальная лампа *Л*, шунтирующее сопротивление *ШС*, балансное сопротивление *Бс*, громозвук с предохранителями *ГСП*.

На каждом пункте включения устанавливается распределительное устройство сильного тока, состоящее из магнитного пускателя *МП* (выключателя освещения улиц с электрическим приводом), якорных предохранителей *П1*, *П2*, системы шин и распределения трехфазного тока между дефью магистралей освещения улиц и оборудования схемы управления в составе: питающих трансформаторов *T1*, *T2*, трех предохранителей питания *П3*, промежуточных реле управления *P12*, *P13*, районного реле управления *P5*, линейного реле контроля *P6*, якорь-реле *P7*, вспомогательных реле *P8*, *P10* и *P11*, реле съема перегорания плавких вставок *P14*, *P15* и *P16* разделительного дросселя *Др*, разделительного конденсатора *С*, микрофонного гнезда *Гн* и громозвук с предохранителями *ГСП*. Все реле, за исключением *P1*, *P2*, *P3*, *P17* и *P18*, питаются переменным током пункта включения. Реле *P1*, *P2*, *P3*, *P6*, *P17* и *P18* питаются постоянным током районного пункта. Пункт включения получает трехфазный переменный ток напряжением 220 или 380 В от соседнего питающего пункта Ленэнерго.

Нормальное положение. Нормально под напряжением находятся трансформаторы *T1*, *T2*. Трансформатор *T1* питает ток через линию связи и якорь реле *P4*, а трансформатор *T2* — реле *P9*. Все сигнальные элементы схемы обесточены. Кнопки *КНУ* и *КНК* находятся в верхнем положении. При этом источник постоянного тока заземлен. Минус постоянного тока подан в микрофонную, миллиамперметр, обмоткам и контактам реле *P17* и *P18*. **Вызов и разговор по телефону с районным пунктом из пункта включения.** Для вызова штепсель переносного телефонного аппарата *ПТА* установленное число раз вставляется в гнездо *Гн*. На районном пункте соответствующее число раз будут включаться реле *P4* и, следовательно, соответствующее число раз зажигаться лампа *Л*, включаться реле *P17* и звонить звонок *Зв*, который включается через контакт реле *P17*. Прерывистый звонящий звонок укажет дежурному района, с ним желают говорить по телефону из пункта включения. Периодически загорающаяся лампа *Л* укажет ему, какой пункт его вызывает. Схема допускает одновременный вызов из нескольких пунктов.

По окончании операции вызова штепсель переносного телефонного аппарата оставляют в гнезде *Гн*. Вследствие этого схема пункта включения отключается от линии связи, а последовательно

ночный телефонный аппарат *ПТА*. На районном пункте дежурный переводит ключ *Кл* в верхнее положение, что влечет за собой выключение: лампы *Л*, реле *P17*, звонка *Зв* и реле *P4*; линия же связи переключается к центральной ячейке и далее к рычажному переключателю микрофона *МТУ*. Дежурный района снимает микрофонную трубку, и его телефонный аппарат оказывается выключенным последовательно с телефонным аппаратом пункта через линию связи и землю на источник постоянного тока. По прекращении разговора дежурный района кладет трубку на свой рычаг, а ключ *Кл* переводит в среднее положение; штепсель переносного телефонного аппарата вынимают из гнезда *Гн*, и схема приходит в нормальное положение. Во время разговора возможно получение вызова и из другого пункта.

Исчезновение и появление напряжения переменного тока на пункте включения. При отсутствии напряжения переменного тока на пункте включения вызов района из пункта включения осуществляется током ручного индуктора переносного телефонного аппарата. От тока индуктора условленное число раз срабатывает реле *P4* и дает сигнал вызова дежурному района. В этом случае (см. ниже) ключ *Кл* занимает нижнее положение и, следовательно, при выключенном реле *P4* лампа *Л*, реле *P17* и звонок *Зв* выключены.

Если со стороны Ленэнерго по тем или иным причинам прекратится подача тока в пункт включения, то на районном пункте выключится реле *P4*. Реле *P4* через свой нижний контакт включит лампу *Л*, реле *P17*, а последнее — звонок *Зв*, которые укажут дежурному района, что в данном пункте включения что-то произошло. Дежурный района переводит ключ *Кл* в верхнее положение и нажимает кнопку *КНК*. Этим самым схема готова к контролю состояния линии связи и оборудования данного пункта. С нажатием кнопки *КНК* к данной линии связи подключается постоянный ток через последовательно включенные обмотки реле *P1*, *P2* и дроссель *Др*. Вместо реле *P4* через разделительный конденсатор *С* к линии связи подключается реле переменного тока *P3*. Обмотки реле *P1* и *P2* выбраны с таким расчетом, чтобы от контрольного тока нормальной величины сработало бы лишь реле *P2*. Таким образом якорь реле *P2* будет принят и, следовательно, верхний контакт этого реле размыкается, а нижний замыкается. Вследствие отсутствия переменного тока на пункте включения якорь реле *P3* будет опущен и замкнется цепь лампы *Л1*, последовательно с которой включена обмотка реле *P18*. Реле *P18* срабатывает и включит через свой верхний контакт контрольную лампу *Л5*. Зажегшаяся лампа *Л1* укажет дежурному, что в данном пункте включения нет напряжения. Лампа *Л5* служит для контроля перегорания сигнальных ламп; действие ее будет рассмотрено ниже. Далее кнопка *КНК* отпускается, а ключ *Кл* переводится в нижнее положение. Как только кнопка *КНК* будет отпущена, то выключаются лампа *Л1*, реле *P18* и лампа *Л5*.

При появлении в пункте включения напряжения, сработает реле *P4* и через свой верхний контакт и нижний контакт ключа *Кл* включит лампу *Л* и звонок *Зв*. Нижнее положение ключа *Кл* укажет дежурному района, что в данном пункте

включения отсутствовало напряжение. Дежурный переводит ключ *Кл* в среднее положение, и схема приходит в нормальное состояние.

Включение освещения улиц. Если хотят включить выключатель освещения улиц на одном из пунктов включения, то соответствующий ключ *Кл* переводят в верхнее положение и нажимают кнопку *КНУ*. Нажатие кнопки *КНУ* влечет за собой заземление минуса источника постоянного тока, и подачи плюса его через дроссель *Др* на линию связи. От постоянного тока данного направления срабатывает реле *P5*, а также и реле *P6*. Реле *P5* размыкает свой верхний контакт и замыкает нижний, через который включается реле *P10*. Реле *P10*, включившись, включает реле *P11*, которое блокируется во включенном состоянии через свой нижний контакт, получая питание через верхний контакт реле *P8*. Кнопка *КНУ* нажимается лишь на время, достаточное для срабатывания реле *P5* и *P10*. Как только прекратится нажатие на кнопку *КНУ*, линия связи лишается постоянного тока и, следовательно, реле *P5* и *P10* выключаются. Так как реле *P11* осталось включенным, то вследствие выключения реле *P10*, через его верхний контакт, питание от точки 4 подается через контакт реле *P11*, контакт *Б* магнитного пускателя в обмотку промежуточного реле *P13* и далее через контакт реле *P12* к точке 3. Реле *P13*, сработав своим верхним контактом, включает обмотку электромагнитного привода магнитного пускателя *МП*. Магнитный пускатель при включении блокирует себя во включенном состоянии через свой контакт *А*, получая питание от точки 4 через контакт реле *P12*. Включившееся реле *P13* своим нижним контактом шунтирует контакт *В* магнитного пускателя и размыкает средним контактом цепь другого промежуточного реле *P12*. При включении магнитного пускателя *МП* размыкаются его контакты *Б*, *Г* и *Е*, а контакты замыкаются *А*, *В* и *Д*. Вследствие размыкания контакта *Г* выключается реле *P9*, бывшее до того включенным через свой контакт, получая питание от точки 1 через контакт *Г* и контакты реле *P14*, *P15* и *P16*. Как только замкнется контакт *Д*, питание от точки 1 будет вновь восстановлено, но так как реле *P9* выключилось, то через его контакт включится реле *P8*. Реле *P8*, сработав, заблокируется через свой контакт, получая питание от точки 1 через контакт реле *P7*. Реле *P8* верхним контактом размыкает цепь реле *P11* и включает реле *P9*. Последнее, включившись, блокируется во включенном состоянии через свой контакт, получая питание от точки 1 через контакт *Д*. Таким образом на пункте включения, кроме реле *P9*, обмотки выключателя *МП* остается выключенным реле *P8*. Реле *P8* своим нижним контактом обрывает цепь переменного тока. Если на районном пункте ключ *Кл* будет переведен в среднее положение, то выключенное состояние реле *P4* через лампу *Л* и звонок *Зв* укажет дежурному, что в данном пункте включения что-то произошло.

Контроль включения выключателя освещения улиц осуществляется следующим образом.

Ключ *Кл* переводится в верхнее положение и нажимается кнопка *КНК*. С нажатием этой кнопки «контроля» в линии начинает циркулировать постоянный ток направления противоположного току управления, так как в этом случае плюс заземлен,

а в линию подается минус через обмотки реле *P2*. От постоянного контрольного тока нормы величины срабатывают лишь реле *P2* и *P6*. Якорь реле *P1* и *P5* не притягивается благодаря соответствующей регулировке этих реле. Реле *P2*, сработав, разомкнет свой верхний и замкнет свой нижний контакты. Реле *P6*, сработав, включит пульс-реле *P7*, которое обрвет цепь заблокированного реле *P1* и последнее отпустит свой якорь. Пульс-реле получит питание от точки 1 через контакты реле *P2* и *P6*. Пульс-реле состоит из пяти реле переменного тока, собранных по специальной схеме. Которое реле *P8* отпустит свой якорь, так сразу через свой нижний контакт оно подаст в линию переменный ток, от которого на районном пункте будет пульсировать реле *P3*, получающее питание через пульсирующий контакт пульс-реле *P7*. От этого попеременно будут зажигаться лампы *Л1*, *Л2* сработает реле *P18*, а также зажжется лампа *Л3*. Попеременное зажигание этих ламп укажет дежурному района, что выключатель освещения улиц в данном пункте включился. С переводом ключа *Кл* в среднее положение и прекращением нажатия на кнопку *КНК* схема приходит в нормальное состояние, причем на пункте включения остается включенной лишь обмотка выключателя *МП* и реле *P9*.

Выключение освещения улиц. Операции дежурного и работа реле при выключении осуществляются так же, как и при включении освещения с той разницей, что при этом сработает вместе реле *P13* промежуточное реле *P12* и своим верхним контактом, размыкая цепь включающей обмотки магнитного пускателя, выключает его. Контроль выключения выключателя освещения улиц осуществляется аналогично контролю включенного состояния, при этом вследствие шунтирования замкнутым контактом *Е* нижнего контакта пульс-реле *P7* на районном пункте реле *P3* будет находиться в притянутом положении и по постоянно горящей лампе *Л2* дежурный района устанавливает, что данный выключатель освещения улиц выключен.

Сигнал изменения положения выключателя освещения улиц. Если по каким-либо обстоятельствам без ведома дежурного района выключатель *МП* включится или выключится, то он при переходе из одного крайнего положения в другое на некоторое время разомкнет цепь реле *P9*. От этого сработает реле *P8* и заблокируется во включенном состоянии на свой контакт. Реле *P8* своим нижним контактом размыкает цепь переменного тока и тем самым вызывает включение ламп *Л* и звонка *Зв* в районном пункте вследствие отпущения якоря реле *P4*. Дежурный переводит ключ *Кл* данного пункта включения вверх, нажимает кнопку *Кл* и далее согласно вышеописанному определяет положение выключателя уличного освещения.

Сигнал перегорания силовой плавкой вставки. В случае перегорания хотя бы одной из плавкой вставок *П1*, *П2* сработает одно из реле *P14*, *P15* или *P16*, в зависимости от того, в какой фазе перегорит предохранитель. Эти реле своими верхними контактами на некоторый период времени разомкнут цепь питания реле *P9*, которое выключается. После замыкания этой цепи включается реле *P9* и блокируется во включенном состоянии, как это уже описывалось выше. Аналогично вышеописанному

му, вследствие срабатывания реле *P8* на районном пункте получается сигнал, по которому дежурный осуществляет операцию контроля. Так как перегорание плавких вставок может произойти лишь при включенном положении выключателя *МП*, дежурный получит сигнал, что магнитный скатель *МП* включен и к тому же вследствие периодического размыкания среднего контакта пульс реле *P7* будет периодически обрываться цепью постоянного тока, т. е. будет пульсировать реле *P2* своим контактом то включать, то выключать лампу *L3*. Реле *P8* при этом не отпустит свой якорь, так как оно выполнено с выдержкой времени на размыкании. По миганию света лампы *L3* дежурный судит, что в данном пункте включения перегорела плавкая вставка. Переведя ключи *Кл* в среднее положение и отпустив кнопку *КНК*, он переводит схему в нормальное состояние, за исключением включенного реле перегорания плавкой вставки *P14*, *P15* или *P16*, что дает ему возможность при последующем спорадическом контроле становить вторично перегорание плавкой вставки в данном пункте включения. Сопротивление *ДС* позволяет снять одним реле сигнал перегорания любой из трех магистралей данной фазы.

Обрыв или заземление линии связи. При обрыве реле *P4*, отпуская свой якорь, включает лампу *L* далее звонок *Зв*. Дежурный придает ключу *Кл* кнопке *КНК* положение контроля, при этом так же якорь реле *P3* отпущен, загорается лампа *L3*, постоянное горение которой укажет, что произошел обрыв линии. Затем ключу *Кл* придается нормальное среднее положение, а кнопка *КНК* автоматически приходит в нормальное положение после прекращения нажатия на нее. При восстановлении целостности линии связи реле *P4*, срабатывая, вновь включает лампу *L* и звонок *Зв*, и самым давным знает дежурному об исправности. После этого ключ *Кл* переводится в среднее положение.

При заземлении линии связи реле *P4* выключается, будучи зашунтировано земляным сообщением. Дежурный района переводит ключи *Кл* кнопку *КНК* в положение контроля. Вследствие увеличения силы линейного тока из-за заземления срабатывает реле *P1* и своим верхним контактом

включает цепь лампы *L4*, по горению которой устанавливают, что в данной линии имеется заземление. Далее ключ *Кл* переводится в нижнее положение, а кнопка *КНК* отпускается.

При уничтожении заземления вновь срабатывает реле *P4* и по горению лампы и работе звонка дежурный узнает, что данная линия связи исправлена, после чего он переводит ключ *Кл* в нормальное среднее положение.

Перегорание сигнальных ламп *L*, *L1*, *L2*, *L3*, *L4*.

Так как все эти лампы зашунтированы сопротивлением *ШС* или *ШС1*, то если даже они перегорят, все же реле *P17* и *P18* сработают. Первое включит звонок, а второе — контрольную лампу *L5*. Наличие этих общих сигналов без зажженной сигнальной лампы укажет дежурному на перегорание лампы. Определение перегоревшей лампы осуществляется испытанием. Если перегорит контрольная лампа *L5*, то это обнаружится при первом контроле.

Конструктивное оформление схемы предполагает в основном использование телефонной аппаратуры завода «Красная заря».

На районном пункте управления устанавливается аппарат управления на 30 объектов (рис. 2) и релейный шкаф (рис. 3). Аппарат управления использует корпус от малого диспетчерского коммутатора (стрелочного). На вертикальной панели этого корпуса монтируются: наверху — 5 сигнальных ламп *L1—L5*, окрашенные в разные цвета. Ниже смонтированы 3 комплекта рамок с 10 коммутаторными лампами и 3 комплекта рамок с 10 разговорно-вызывными ключами. Это — объектная часть схемы. На каждый объект приходится один ключ и одна лампа. Разговорно-вызывной ключ выполняет функции ключа *Кл* и кнопки *КНК* (рис. 1). Кнопка управления *КНУ* расположена внизу с правой стороны. Микрофонные трубки две: одна из них может быть использована для прямой связи с диспетчером города.

В качестве релейного шкафа (рис. 3) использован корпус малой АТС типа ОЛ. В этом корпусе смонтирован весь комплект реле и конденсаторов на 30 объектов, включая приборы и реле центральной ячейки.

Оборудование пункта включения (рис. 4) смон-

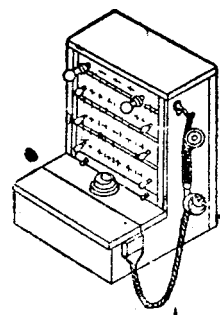
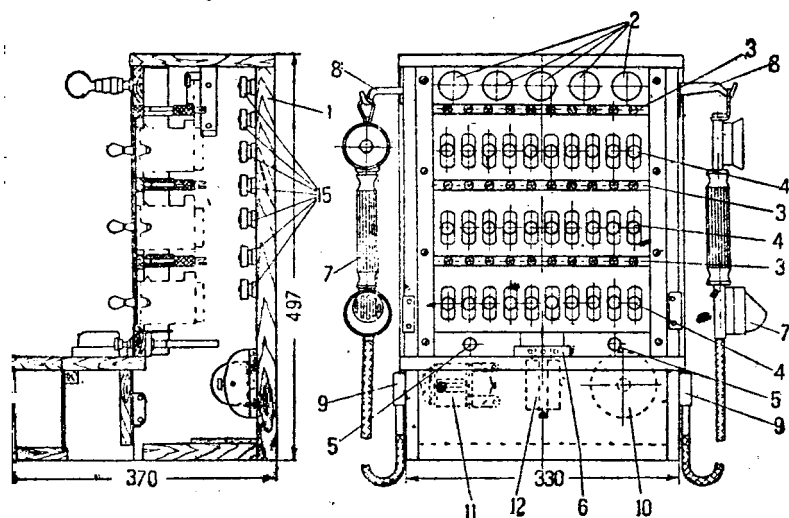


Рис. 2

Аппарат управления районного пункта. 1 — корпус стрелочного коммутатора; 2 — лампа «Сигна — Минкон»; 3 — рамка с 10 сигнальных ламп; 4 — разговорно-вызывные ключи (30 шт.); 5 — кнопки; 6 — сигнал измерителя; 7 — микрофон; 8 — рычажной переключатель; 9 — микрофонное гнездо; 10 — 11 — 3 точки постоянного и переменного тока; 12 — 2-дФ конденсатор; 13 — ом ческие катушки (30 шт.)

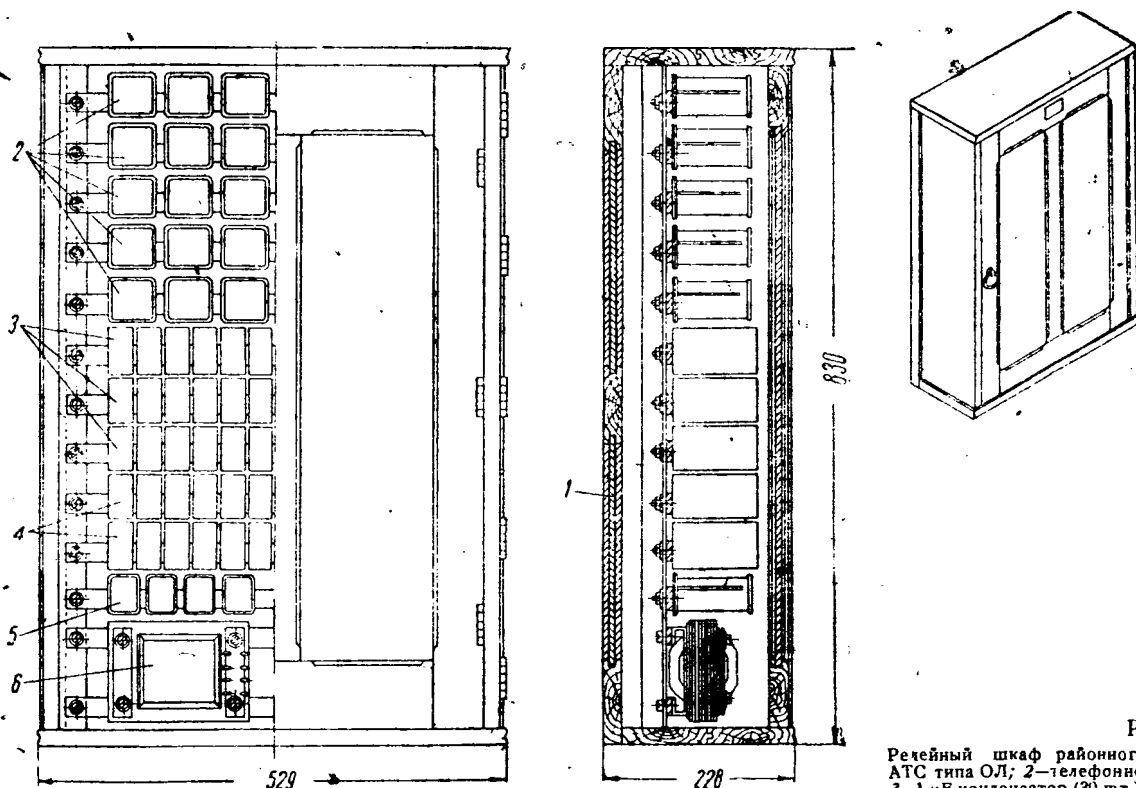


Рис. 3

Релейный шкаф районного пункта. 1 — корпус шкафа АТС типа ОЛ; 2 — телефонное реле 2-катушечное (31 шт.); 3 — 1- μ F конденсатор (30 шт.); 4 — 2- μ F конденсатор (30 шт.); 5 — телефонное реле 1-катушечное; 6 — дроссели

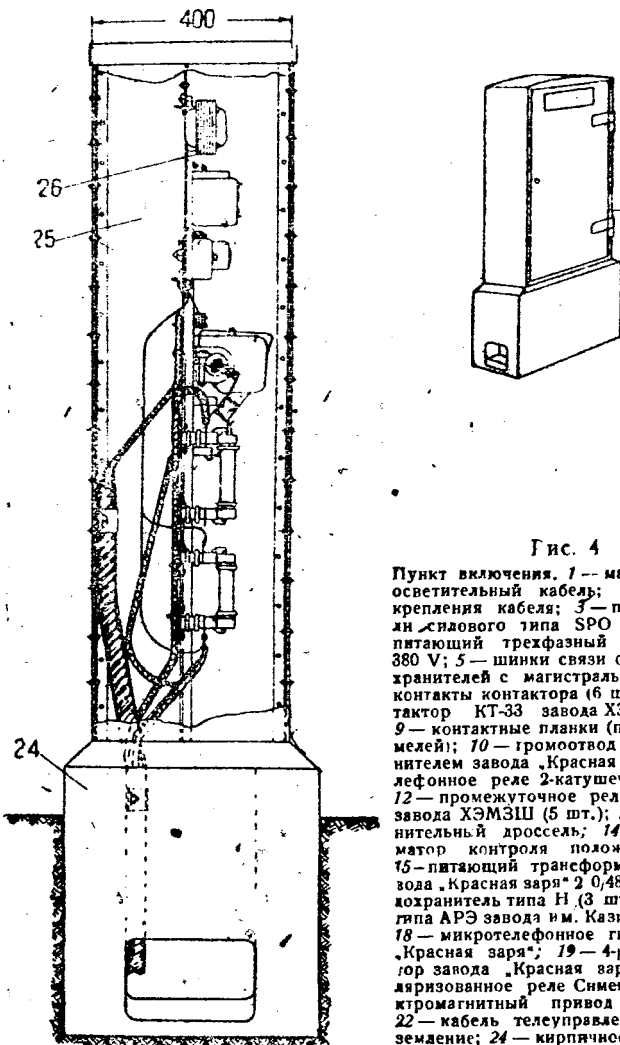
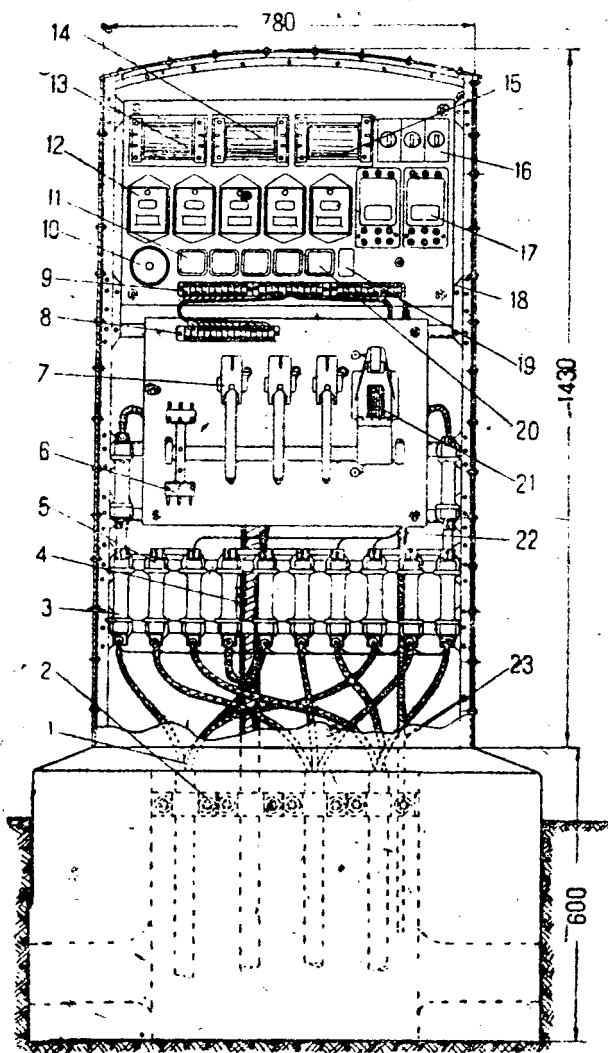


Рис. 4

Пункт включения. 1 — магистральный осветительный кабель; 2 — накладки крепления кабеля; 3 — предохранитель силовых кабелей типа СРО (12 шт.); 4 — питающий трехфазный кабель 220-380 V; 5 — шинки связи общих предохранителей с магистралью; 6 — блок контактов контактора (16 шт.); 7 — контактор КТ-33 завода ХЭМЗШ; 8 — 9 — контактные планки (по 15 и 10 мм); 10 — громкоговоритель с предохранителем завода «Красная заря»; 11 — телефонное реле 2-катушечное (4 шт.); 12 — промежуточное реле РП завода ХЭМЗШ (5 шт.); 13 — разъемный дроссель; 14 — трансформатор контроля положения 220/50; 15 — питающий трансформатор Ш-5 завода «Красная заря» 2 0,48 V; 16 — предохранитель типа Н (3 шт.); 17 — реле типа АРЭ завода им. Казинского (2 шт.); 18 — микрофонное гнездо завода «Красная заря»; 19 — 4- μ F конденсатор завода «Красная заря»; 20 — поляризованное реле Сименса; 21 — электромагнитный привод контактора; 22 — кабель телеуправления; 23 — земление; 24 — кирпичное основание; 25 — железный корпус; 26 — панель управления

розано на вертикальной панели и заключено в нормальный киоск треста Ленсвет. В средней части установлен контактор завода ХЭМЗШ. Ниже располагаются магистральные предохранители типа SPO. В верхней части установлена панель со всеми приборами и реле для управления: при уни-

версальных предохранителях типа Н два вспомогательных трансформатора питания и дроссель, собранные на железе типа Ш-5, четыре промежуточных реле ХЭМЗШ, два реле АРЭ завода им. Казицкого и т. д. Телефонный кабель линии связи подводится снизу.

ХРОНИКА

От комитета по участию СССР в международных энергетических объединениях

К обсуждению терминов Международного электротехнического словаря

До 12 февраля с. г. в комитет поступило 949 замечаний по словарю от 27 учреждений, организаций и отдельных лиц, именно: от Военно-электротехнической академии, Военно-медицинской академии, Коммунального энергостроя, Московского университета (от нескольких кафедр), Ленинградского политехнического института, Ленинградского института связи, Харьковского энергетического института, Новочеркасского индустриального института, и от профессоров, инженеров и научных работников: Бергера, Туника, Белявского, Колосова, Равича, Захарова, Богословского Е. В., Меланида, Слепяна, Сукачева, Скоморохова, Хрущева, Яронова А. А., Кальмана, Круга, Маренина, Баженова, Шейнина, Константинова, Толвинского и Бобовского. Последний представил объемистый труд, в котором затрагивается ряд принципиальных вопросов.

Наибольшее число замечаний получено по следующим отделам:

дел 0,5 — Основные определения	242 замечания
10 — Машины и трансформаторы	183 "
15 — Шиты и аппараты	73 "
20 — Приборы для измерений	50 замечаний
25 — Производство, передача и распределение энергии	73 замечания
30 — Электрическая тяга	42 "
60 — Радиосвязь	110 замечаний

По остальным отделам получено от 1 до 20 замечаний. Для рассмотрения и проработки замечаний комитет призвал организованную по инициативе Л. С. Бобровского при ВНИТО электротехники и электросвязи особую комиссию по рационализации русской электротехнической терминологии, работающую под председательством проф. В. А. Толвинского. На заседании комиссии с участием представителей комитета председателем были доложены результаты ознакомления с поступившими замечаниями.

Поступившие замечания можно подразделить следующим образом.

I. Уточнение словаря

1. Предложения заменить приведенный в словаре русский термин другим, применяемым в Союзе,

а также предложения ввести параллельный термин, имеющий широкое применение наряду с термином, указанным в М. Э. словаре.

2. Редакционные поправки к русскому переводу определения термина.

3. Редакционные поправки к французскому тексту определений, а также предложения изменить определения, данные на французском языке (и соответственно изменить переводы определений на русский язык).

II. Усовершенствование русской электротехнической терминологии

4. Указание отдельных русских терминов и групп их, требующих либо уточнения области применения этих терминов либо замены применяемых терминов другими в целях систематизации терминологии.

5. Предложение новых терминов, более удачных с точки зрения соответствия смыслу определения, приведенного в М. Э. словаре.

6. Предложение новых терминов, более удачных с точки зрения их словесного выражения.

В связи с содержанием замечаний возникает ряд принципиальных вопросов, подлежащих обсуждению в комиссии, именно вопросы:

1. О систематизации электротехнической терминологии.

2. Об интернациональных терминах и роли русских и иностранных элементов в русской электротехнической терминологии.

3. О правах гражданства иностранных терминов, вошедших в русскую электротехническую терминологию.

4. Об иностранных несклоняемых терминах (например реле, кино, метро, динамо; магнето).

5. О введении в словарь параллельных терминов (например впадина, паз).

6. О длинных терминах и способах их сокращения. Здесь следует отдельно рассмотреть:

а) длинные термины, состоящие из одного слова (например трансформатор);

б) длинные термины, состоящие из нескольких слов, но допускающие пользование в речи и пись-

ме усечением после применения термина вначале в полном объеме (например вращающий момент); в) длинные термины, состоящие из нескольких слов и сохраняющие смысл лишь при пользовании термином в полном объеме (например коэффициент полезного действия).

7. О требованиях, которым должен удовлетворять термин.

8. О терминах утверждающих и терминах отрицающих то или иное свойство или тот или иной признак.

9. О способах образования новых терминов (словотворчество). По предложению председателя комиссия постановила войти в возможно большее общение с организациями, учреждениями и лицами, представившими свои замечания, и держать их в курсе работ комиссии, посылая проекты замечаний, извлечения из протоколов и т. п.

Затем комиссия приняла план работ, в котором

на первую очередь выдвинуто рассмотрение научных замечаний по Международному словарю в целях улучшения русской терминологии и уточнения определений. В связи с этим должны быть рассмотрены и неречисленные выше принципиальные вопросы. Эту работу необходимо выпустить в ближайшие месяцы, чтобы успеть сообщить заключение Словарному комитету Международной электротехнической комиссии, собирающемуся в том 1937 г.

В дальнейшем комиссия имеет в виду занят увеличением числа терминов, включаемых в словарь, и разработкой их определений.

Все заключения комиссии ВНИТО сообщаются Комитету по участию СССР в международных энергетических объединениях и Комиссии по терминологии Академии наук СССР.

Зам. пред. комитета М. А. Шателен

БИБЛИОГРАФИЯ

СВЕТ, ИСТОЧНИКИ СВЕТА, ОСВЕЩЕНИЕ

Составили А. Майер, Вангенгейм и В. Бертельсман. Пер. под редакцией и с дополнением проф. П. И. Мартынова (IX отдел справочника Хютте, т. III, изд. 15). ОНТИ. Главная редакция лит.-ры по машиностроению и металлообработке, 1936, стр. 1052—1118 *.

Вопросы освещения составляли в большинстве немецких изданий Хютте часть отдела электротехники и только в последних изданиях получили самостоятельный характер. Однако в немецких изданиях, не исключая и 26-го, с которого сделан перевод 15-го русского издания, глава об освещении весьма короткая, и ее нельзя признать удовлетворительной ни с точки зрения четкости содержащихся в ней формулировок ни с точки зрения изложения простейших практических данных, которые нужны для проектирования. Можно с полной определенностью сказать, что для лиц, не имеющих специальных познаний по светотехнике, отдел освещения в немецком издании Хютте может дать очень мало; специалисты же светотехники в своей практике пользуются другими более полными руководствами, так что отдел освещения в справочнике Хютте для них никакого интереса не представляет. Спрашивается, следовало ли вообще создавать в таком виде отдел по светотехнике в общетехническом справочнике типа Хютта. Ответ должен быть отрицательным; даже те поправки, которые сделаны в русском издании, не изменили общего характера материала, так что и о русском издании отдела светотехники в общем нельзя сказать ничего положительного.

В отдел IX русского издания Хютте входят следующие части: I — основные понятия, методы измерений и расчет освещения; II — источники света и III — проектирование осветительных установок.

Часть I начинается с определения световых единиц (рубрика 1); в этом небольшом разделе неправилен самый подзаголовок: вместо «единиц» всюду должно быть «величин», ибо в тексте все относится к величинам, а не к единицам.

Далее дано такое определение нижней (или верхней) полусферической силы света (стр. 1056), из которого никак нельзя понять, что собою представляет это понятие. Чему равновелик в этом определении световой поток в полусфере? Тут либо выпала часть текста при наборе либо дано неудовлетворительное определение. На той же странице дано разъяснение, что собою представляет кривая распределения светового потока. Это разъяснение

совершенно нечеткое, и лишь опытный светотехник может догадаться, о чем здесь идет речь.

Раздел, посвященный фотометрии, имеет лишь краткую ссылку на существование объективных измерений (стр. 1060). Для руководства, вышедшего в свет на передел 1937 г., этого слишком мало. Вместо того, чтобы в трех страницах излагать свойства свечи Гейфнера, практическое значение которой невелико, следовало бы несколько подробнее изложить суть объективной фотометрии.

В рубрике «метод вспомогательных кривых» (стр. 1061) излагается прием получения средней сферической силы света по кривой Руссо (рис. 4). Изложен этот прием так, что не специалист лишь с трудом разберется в сути метода; к тому же во всей рубрике абсциссы названы ординатами, что совершенно запутает читателя.

Вторая часть — об источниках света — содержит слишком обширный материал об источниках с твердым и жидким горючим и о газовых лампах.

Сведения об электрических лампах неполные. Специальным лампам, например, прожекторным, автомобильным, котельным, не уделено ни слова. Это существенный дефект раздела. При этом следует отметить следующие неточности: в тексте указывается, что распространены лампы с винтовой нарезкой Эдисона и Гольмиф (стр. 1075). Нужно четко именовать цоколи. Принято в немецких стандартах DIN и в русской литературе именовать цоколи Эдисона в зависимости от размера так: E-10, E-14, E-27, E-40. Соответственно цоколи Свана именуются S-10, S-14, S-27, S-40.

Далее без чертежа совершенно нельзя понять, о какой рифленой нарезке идет речь на стр. 1075: никем такая нарезка не нормирована, и эта часть текста остается непонятной даже для читателя-специалиста.

Неудачно название «неблагородные» газы (азот, углекислый газ, стр. 1081). Такое наименование в химии никогда не применялось и вряд ли целесообразно введение его как антитезы по отношению к общепринятому термину «благородные» газы.

Таблица на стр. 1086 и 1087, имеющая, очевидно, своей целью наглядно представить свойства и область применения типовых симметричных светильников, в действительности в отдельных своих частях лишь дезориентирует читателя, так как содержит явные искажения. Здесь прежде всего имеется расхождение с общепринятой классификацией. На рис. 14 светильник никак не является светильником со средним светораспределением. Странным является заявление такого порядка: «светильники со средним светораспределением имеют свойство очень мало менять кривую

* По материалам библиографического сектора государственной научной б-ки НКТП СССР.

распределения сил света лампы. Не менее странным является приписывание светильникам на рис. 16 слепящего действия как отличительной черты такого типа светильников; тем самым мы можем получить распределение по рис. 16 без блескости светильника (например в оптических арматурах Кертинга). Непонятно, почему светильник преимущественно отраженного света на рис. 19 не имеет указания: применяется не очень часто. Также будет противоречивым заключение. Вообще всю книгу на стр. 1086 и 1087 следует признать неудачной, скорее причиняющей больше вреда, чем пользы.

Те материалы, относящиеся к проектированию освещения, не содержат чего-либо нового, хотя и неправильно в них тоже не обнаружено. Это нормальный материал из существующих учебников. Описания специальных типов освещения (фабрично-заводского, поездов, сцен и т. д.) коротки, слишком общи и никакой помощи при проектировании не могут оказать. Их с успехом можно было бы исключить.

Подводя итоги, можно сказать, что в таком справочнике, каким является Хютте, можно требовать помещения ценного материала, чем данные главы IX, и, во всяком случае, материала без ошибок. Очень жалко, что изданный тиражом 60 000 экз., разнесет по всему СССР неточности и мало понятные отдельные места, держащиеся в главе IX справочника.

Л. Д. Белькинд

НОВОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОПРОМЫШЛЕННОСТЬ.

Библиографический ежемесячник Государственной научной библиотеки Наркомтяжпрома СССР

Государственная научная библиотека НКТП выпустила уже 2 номера своего нового библиографического журнала «Новости технической литературы», который издает отдельно по важнейшим отраслям тяжелой промышленности, в том числе и по энергетике и энергопромышленности. Журнал начал выходить в середине 1936 г. и пока имеет библиографическую роспись только начала 1936 г. Работа ведется очень большое количество русских и иностранных журналов и книг. В двух первых выпусках есть аннотации на 2739 названий. Роспись производится по следующим разделам. А — Общие вопросы, Б — Механика и производство тепловое и силовое оборудование, В — Электротехника, Г — Электротехническая промышленность, Д — Передача и распределение электрической энергии, Е — Электротехническая промышленность бытовых токов, Ж — Энергетика и электрификация народного хозяйства, З — Библиография. Задачи ежемесячника формулируются в редакционном предисловии к первому номеру следующим образом:

Задача нашего ежемесячника состоит в том, чтобы ставить на службу социалистической промышленности

весь теоретический и практический опыт мировой науки и техники, находящий отражение в произведениях печати.

Новый журнал является весьма ценным изданием в помощь хозяйственнику, инженеру, научному работнику. Однако первые номера еще не свободны от ряда существенных недочетов, мешающих наиболее полному их использованию. Так, например, ни в первом ни во втором выпуске журнала нет указания, к какому точно периоду относятся аннотируемая литература. В первых двух выпусках имеются повторения одних и тех же статей (№ 136 и 1459, 102 и 1435), японский материал часто встречается и во втором выпуске (№ 1330, 1323 и др.). Для читателя, который пользуется журналом как справочником, важно точно знать, какой срок охватывает данный выпуск, так же, как важно иметь полный перечень аннотируемых журналов. Такого перечня в журнале нет, и читатель не может быть уверен в том, что охвачено действительно все. По перечню это легко можно было бы проверить.

Было бы также иметь не только названия книг и статей, но и краткое содержание их. Это содержание указывается только по очень небольшому количеству названий; что затрудняет использование всего материала.

Можно было бы также сделать ряд предложений в отношении классификации. Было бы, например, желательно выделение раздела гидроэнергетики, а из подразделов иметь собранным в одном месте материал по автоматике и телемеханике, а также по научно-исследовательской работе. В журнале этот материал большей частью разбросан по разным подразделам.

Имеется и ряд более мелких недочетов. В некоторых названиях не указаны источники (№ 702). Статья, относящаяся к двум разделам, печатается только в одном (№ 186, 234, 268, 302, 1429 и др.), несмотря на обещание редакции, данное в предисловии, делать соответствующие ссылки.

Особо необходимо остановиться на переводе названий иностранных книг и статей на русский язык. И в первом и во втором номере имеются неправильности и неточности перевода (№ 88, 233, 505, 1821 и др.).

Можно было бы поставить вопрос о том, нужно ли вообще давать названия статей на иностранных языках. Соответствующее данному журналу английское библиографическое издание Science Abstracts дает на иностранных языках только название журнала, название же статей дается на одном английском языке. Такое изменение сэкономило бы много места, которое можно было бы использовать для аннотирования.

Второй выпуск рецензируемого журнала лучше первого. Надо надеяться, что с каждым номером журнал будет совершенствоваться и сделается, несомненно, весьма полезным пособием для всех интересующихся техническим прогрессом в области энергетики.

М. Н. Грановская

Новые книги

АЛЬПЕРИН А. О., инж. Электроэнергетика. Сборник общесоюзных стандартов. Вып. II. Л. — М., ОНТИ. 1936, 252 стр., черт., ц. 9 р. 50 к.

В II том сборника вошли стандарты по линиям передачи, установочным электроизделиям, химическим источникам тока, электрическим лампам, электроизмерительным приборам, электротехническим материалам.

КАРПОВ Ф. Ф., инж., Электрический расчет распределительных сетей и линий пере-
Утверждено ГУУЗ НКТП в качестве учебника для энергетических техникумов. М. — Л., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 310 стр. с черт., ц. 5 р., 25 к., перепл. 1 р. 25 к.

КАРБМАН С. А. и КОЛОБНЕВ Н. Ф., Индукционные электропечи для плавки цветных металлов и их сплавов. М. — Л., Главн. ред. лит-ры по цветной металлургии, 1936, 399 стр. с илл., ц. 5 р., перепл. 1 р. 25 к.

В книге освещены вопросы теории индукционных печей, проектирования, монтажа и практики эксплуатации.

Рассчитана книга на инженеров-эксплуатационников и студентов вузов.

КОРИЦКИЙ А. В., Конструирование трансформаторов. М. — Л., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1936, 300 стр. с илл., ц. 5 р. 50 к., перепл. 1 р. 50 к.

В книге даны методы разработки конструкций отдельных частей силовых трансформаторов, иллюстрируемые примерами последних советских и зарубежных конструкций. Книга предназначается для студентов энергетических вузов и для инженеров эксплуатационников и конструкторов.

ЛЕБЕДЕВ А. Б., проф. Основы электрической тяги. Л. — М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 620 стр. с илл., ц. 13 р. 50 к., перепл. 1 р. 50 к.

Книга содержит как теоретические, так и конструктивные основы важнейших элементов электрических железных дорог. Дано описание тяговых электродвигателей, систем управления и торможения поездов с необходимыми расчетами. Приведена характеристика подвижного состава

и рабочей сети, а также системы питания электрических железных дорог. Книга предназначена для инженеров и студентов вузов.

НАХМАНСОН Е. Е., Основные конструкции электрических распределительных устройств. Л.—М., Главн. ред. энергетической лит-ры, 1937, 426 стр., с илл., ц. 6 р. 25 к., перепл. 75 коп.

В книге рассмотрены различные типы аппаратов и приборов распределительных устройств, способы их установки и расчет при выборе шин, изоляторов и аппаратов распределительных устройств. Все изложение основано, главным образом, на оборудовании и материалах, изготовляемых на заводах СССР.

ПИОТРОВСКИЙ Л. М. и ПОПОВ В. К., Испытание машин переменного тока. Вып. I. Испытание трансформаторов и преобразователей. Утверждено НКТП СССР в качестве учебного пособия для электрических вузов. 331 стр., с илл., ц. 4 р. 25 к., перепл. 75 коп.

ПОПЛАВКО М. В., Дуговая электрическая сварка электродом, насыщенным водородом. М.—Л., Главн. ред. авиационной лит-ры, 1936, с илл., ц. 2 р. 75 к.

Дано описание нового способа дуговой электрической сварки голым металлическим электродом, насыщенным водородом, и приведены данные о более высокой производительности труда сварщиков.

РЕФЕРАТЫ

МОТОРЫ (AUTOSYN) АВТОСИНЫ

(Сборник фирмы Pioneer Aircraft Instruments USA 1936)

В Америке в числе разнообразного электрического оборудования современных самолетов применяются электромоторы, так называемые автосины, изготовляемые фирмой Pioneer Instrument Company Incorporated USA.

Автосины, удаленные на расстояние друг от друга, имея параллельное электрическое соединение, работают синхронно; при этом ротор одного мотора следует за движением ротора другого мотора. Это обстоятельство использовано в авиации для построения системы указаний на расстоянии. Сущность этой системы, так называемой autosyn remote indicating system, заключается в следующем: на щите приборов в кабине летчика приборы должны показывать функции самолета и его моторов. В качестве механизма приборов применены моторы автосины. Один мотор автосин соединяется механически с чувствительным элементом прибора, и всякое изменение положения этого элемента вызывает смещение под определенным градусом ротора мотора автосина. Второй мотор прикрепляется механически к прибору, и стрелка прибора одевается непосредственно на вал этого мотора, и всякое движение ротора мотора будет показываться стрелкой на циферблате прибора. Первый и второй моторы, имея между собой электрическое соединение, будут дублировать смещение роторов и тем самым показывать различ-

ные функции самолета. Например, при измерении угловой скорости чувствительный элемент прибора, опускаясь, вызывает постепенное расхождение стрелки, посредством механической передачи смещая ротор первого (приемного) автосина; смещение отмечается вторым автосином (передающим) на циферблате прибора, который отградуирован в соответствии с назначением и характером измерения.

Автосины применяются для приборов, показывающих: личные условия работы мотора, давление масла, скорость подачи горючего, уровень горючего, температура для заправки положения вентиляционных клапанов, положения на при посадке, положения руля высоты, плоскостей, для стрелки радио и т. д.

Конструкция мотора системы Autosyn 851B показана на рис. 1.

Автосин типа 851B выполнен как однофазный синхронный электромотор переменного тока с явно выраженными полюсами. Статор имеет трехфазную обмотку. Для питания двигателей моторов системы Autosyn применяется переменный ток напряжением ~32 В, 50 Гц от специально установленного для этой цели умформера.

Электрические данные: $P \sim 2W$; $E \sim 32V$; $I - 16A$. Габаритные размеры: длина вала $3\frac{13}{32}$ ", диаметр вала $1\frac{1}{8}$ ", диаметр корпуса $1\frac{1}{8}$ "; высоты $2\frac{3}{8}$ ".

С. А. Копылов

Н. HANDRECK, КОНДЕНСАТОРЫ С КЕРАМИЧЕСКИМИ ДИЭЛЕКТРИКАМИ

Archiv für technische Messungen, 112, August 1936

Описываются конденсаторы, применяемые преимущественно в цепях высокой частоты, в которых в качестве диэлектрика используются новые керамические материалы фирмы Hermsdorf-Schomburg. Приводим сводку свойств важнейших из этих материалов.

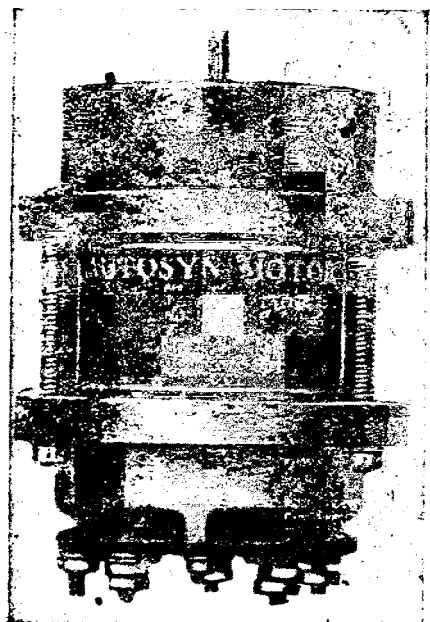


Рис. 1. Мотор autosyn типа 851B

Название материалов	Диэлектрический коэффициент при нормальной температуре	Изменение диэлектрического коэффициента при повышении температуры на 10° C, %	Тангенс угла потерь при частоте		Диэлектрическая прочность, кВ/мм	Удельное объемное сопротивление при температуре	
			10 ⁶ Hz	5·10 ⁷ Hz		20 °C	300 °C
Calit	6,5	+ 0,14	0,038	0,032	35	> 10 ¹³	3,2·10 ¹²
Calan	6,6	+ 0,14	0,032	0,025	35	> 10 ¹³	4,5·10 ¹²
Condensa N	40,0	- 0,36	0,069	0,042	20	> 10 ¹²	1,2·10 ¹²
Condensa C	80,0	- 0,72	0,056	0,028	15	> 10 ¹²	2,5·10 ¹²
Tempa N	12,5	- 0,03	0,13	0,085	20	> 10 ¹²	1,2·10 ¹²
Tempa S	14,0	+ 0,04	0,008	0,007	20	> 10 ¹³	3·10 ¹²

Следует выделить материалы типа Тетра, выпущенной в последнее время. Они имеют диэлектрическую проницаемость, лишь в ничтожной степени зависящую от температуры. Диэлектрические потери Тетра S на высоких частотах весьма малы.

Служивает внимания изготовление электродов, которые являются в виде слоев серебра толщиной 2—10 мк, нанесенных непосредственно на поверхность диэлектрика при температуре порядка 750°. Такие слои весьма прочны и дают хорошее прилегание к поверхности диэлектрика. Подшипники провода припаиваются к серебряным слоям непосредственно или же после утолщения последних слоем, наносимым гальваническим путем или шоопированием.

Б. М. Тареев

А. I. WILDSCHUT, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

India Rubber Journal № 18a, стр. 19—25, 1936

Реферруемая статья представляет изложение результатов исследований электрических свойств технических резиновых смесей, проведенных в лаборатории завода Holland Insulated Cable Works в Амстердаме, а также в американском Bureau of Standards. Удельное сопротивление обычных резиновых смесей в прямом токе весьма велико — порядка 10^{12} Ом. Большинство ингредиентов резиновых смесей является непроводником и на проводимость резины существенно влияния не оказывает. Исключением является сажа, которая при большом содержании в смеси сильно снижает электрическое сопротивление резины и даже может сделать смесь полупроводящей. Это влияние сажи особенно сильно заметно у резины, в которых натуральный каучук заменен перенном, миполамом или, в особенности, тиоколом. Так, на основе синтетического тиокольного каучука практически уже перестает быть электроизолирующим материалом при содержании сажи 150%, в то время как резина на основе натурального каучука с тем же содержанием сажи имеет сопротивление, лишь незначительно отличающееся от сопротивления резины, совершенно не содержащей добавки сажи. Полупроводящая резина с большой добавкой сажи применяется к применению в особых конструкциях кабелей (Draka). При нагреве резины до 70° в течение нескольких дней удельное сопротивление ее повышается, а $\tan \delta$ падает за счет удаления влаги, обычно содержащейся в резине в количестве нескольких десятых долей процента. Электрическая проницаемость ϵ чистого вулканизированного натурального каучука равна 2,40; серы — 3,40; тиокола — 4,60; дюпрена — 6,90; миполама — 3,42 (при нескольких градусах герца). Как ϵ , так и $\tan \delta$ при увеличении продолжительности вулканизации растут; влажность заметно увеличивает ϵ . Выше зависимости ϵ и $\tan \delta$ резины от содержания связанной сажи имеют резкий максимум ($\epsilon = 3,75$; $\tan \delta = 0,073$) при содержании серы 11—13%. Диэлектрическая крепость резины натурального каучука — 25—35 кВ/мм, дюпреновой 15—20, тиокольной — 20—25.

Б. М. Тареев

WILSON C., ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ

Journal of I. E. E. № 480, Dec., 1936

В этом исследовании поведение слоистых образцов из намагниченных материалов (сталь с 4% кремния, мю-металл, стигмал), собранных из кружков толщиной около 0,3 мм диаметром около 9 мм, в диапазоне частот от 0 до $3 \cdot 10^6$ Hz для определения влияния частоты на потери и магнитную проницаемость. Получен ряд кривых зависимостей, относящихся к следующим выводам.

В низких частотах потери на токи Фуко составили от $10^{-15} B^2 f^2$ до $10 \cdot 10^{-15} B^2 f^2$ в зависимости от материала. Были гораздо выше теоретически вычисленных значений $10^{-15} B^2 f^2$ — $3 \cdot 10^{-15} B^2 f^2$. Повидимому, это было связано

с максимальной плотностью мгновенного потока; поэтому в формулу (в написании автора): $W = A B_a^2 f^2 W/kg$, где W — полные потери, A — коэффициент; B_a — кажущаяся (измеряемая) плотность мгновенного потока; f — частота.

но с возникновением эффективных поперечных магнитных потоков вследствие изменения проницаемости в зернах металлов, что в свою очередь зависит от ориентирования кристаллов в направлении результирующей намагничивания. Кривые в общем следуют общеизвестному эмпирическому закону потерь², лишь несколько отклоняясь от него при повышенной максимальной плотности мгновенного потока.

Магнитная проницаемость остается постоянной и независимой от частоты по крайней мере до 10^4 Hz ($\mu_{нач} = 880$ — 9500 в зависимости от материала). Но она бесспорно зависит от нее — падает при частотах выше 10^5 Hz. При дальнейшем повышении числа периодов она или остается постоянной или медленно понижается, становясь значительно меньше первоначального значения (μ конечное — порядка 200 ± 50).

Автор объясняет такой ход кривой прежде всего зависимостью от глубины проникновения магнитного потока, приближающейся к порядку величины средних линейных размеров области самонасыщения магнитного материала, хотя в диапазоне средних частот нужно, конечно, учитывать и молекулярную вязкость.

Коэффициент мощности намагничивающих ВА при высоких частотах был теоретически найден равным 0,707. В действительности же он оказался значительно выше, что впрочем согласуется с результатами других исследований. Однако это повышение автор приписывает не наличию потерь на гистерезис при высоких частотах, как это принято, а указанному выше возникновению магнитных потоков поперечных относительно направления магнитодвижущей силы.

Для 4-го (стального) образца из круглых пластин толщиной 0,05 мм ход кривых во всех случаях был аналогичен, отличаясь естественно по абсолютным значениям.

Г. Б. Стеллих

ВИНИФОЛЬ, KUNSTSTOFFE № 10, стр. 205, 1936

* Германской химической фирмой I. G. Farbenindustrie выпущен новый эластичный листовый материал под названием «винифоль» (Vinifol), применяемый при изготовлении проводов и кабелей как электроизоляционный материал. Винифоль изготавливается в рулонах длиной до 600 м при ширине 500 мм; толщины — 0,02; 0,03 и 0,04 мм. Материал водонепроницаем и негигроскопичен; он совершенно стоек к действию озона, что дает возможность его применения для высоких напряжений. Он также стоек по отношению к действию кислот, щелочей и масел; он растворяется лишь в некоторых специальных органических растворителях. Рабочие температуры: от -20° до $+80^\circ$ C. Удельный вес — 1,47; прочность на разрыв — 650—750 кг/см² при удлинении 4—5%. Диэлектрическая проницаемость — 3,1; $\tan \delta = 0,0085$; поверхностное удельное сопротивление более 10^{12} Ом. По химическому составу винифоль представляет игелит с добавлением пластификаторов.

Б. М. Тареев

Н. WIERER, БЫСТРАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ.

Siemens Zeitschrift № 11, т. 16, стр. 430, 1936

В реферруемой статье, после изложения условий точной синхронизации и краткого описания основных методов быстрой синхронизации (втягивание в синхронизм слабовозбужденного генератора, грубая синхронизация, автоматическая синхронизация с неизменным временем опережения), описывается новая схема автоматического синхронизатора с неизменным временем опережения. Основным элементом этого синхронизатора является дифференциальное поляризованное реле e (рис. 1). Токи в обмотках этого реле всегда текут в противоположных направлениях и в тот момент, когда они оказываются равными по величине, реле замыкает свои контакты, подавая импульс на включающий соленоид выключателя. Обмотка 1 реле e обтекается током, пропорциональным векторной разности напряжений синхронизируемых частей сети

$$i_R = \frac{\Delta U}{R} = \frac{2U}{R} \sin \frac{\Delta \omega}{2} t.$$

Здесь: U — напряжение сети; $\Delta \omega$ — круговая частота скольжения; R — сопротивление цепи обмотки 1.

К обмотке 2 того же реле e , соединенной последователь-

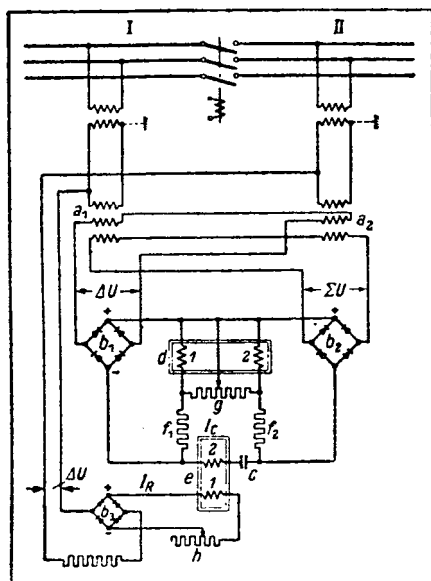


Рис. 1. Схема автоматического синхронизатора с неизменным временем опережения

с конденсатором C , подводится напряжение, пропорциональное ΔU и сдвинутое относительно него по фазе на угол $\frac{\beta}{2} = \pm 30^\circ$. Для получения такого напряжения использована разность двух напряжений — выпрямленного ΔU и выпрямленного суммарного ΣU , измененного в $\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{3}$ раз подбором коэффициентов трансформации трансформаторов a_1 и a_2 . Поэтому напряжение на последовательно соединенных обмотке 2 и конденсаторе C :

$$u_C = 2U \left(\sin \frac{\Delta\omega}{2} t - \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \cos \frac{\Delta\omega}{2} t \right),$$

а ток обмотки 2:

$$i_C = C \frac{d u_C}{d t} = 2CU \frac{\Delta\omega}{2} \frac{\cos \left(\frac{\Delta\omega}{2} t - \frac{\beta}{2} \right)}{\cos \frac{\beta}{2}}.$$

В момент срабатывания реле $i_C = i_R$, откуда

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\Delta\omega}{2} t \pm \frac{\beta}{2} \right) \mp \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = RC \frac{\Delta\omega}{2} \frac{1}{\cos \frac{\beta}{2}}$$

или приближенно

$$t = \frac{RC}{\cos^2 \frac{\beta}{2}}$$

независимо от величины $\Delta\omega$.

При этом, пока угол опережения $\Delta\omega t$ не превосходит включения выключателя производится при любом скольжении, в надлежащий момент и с практически достаточной точностью — до 5° . Это позволяет производить включение на параллельную работу даже при скольжении в 1% и менее включения масляного выключателя $0,6$ сек.

Второе изображенное на схеме дифференциальное реле d служит для предотвращения параллельного включения при слишком больших значениях угла опережения, которым соответствуют недопустимо большие величины скольжения.

Кроме этих двух основных реле, в комплект автоматического синхронизатора входит ряд вспомогательных реле: а) предотвращающих включение при неправильной очередности действия реле e и d ; б) включающих синхронизацию в работу и в) автоматически отключающих его после синхронизации.

Описываемый синхронизатор, как указывает автор, обладает следующими достоинствами:

1. Его работа в широких пределах не зависит от частоты, так как все обмотки реле питаются выпрямленным током. Поэтому он надежно действует в аварийных условиях, когда частота может сильно отличаться от номинальной.

2. Синхронизатор практически не чувствителен к изменениям напряжения: надежная работа может быть получена в диапазоне напряжений от 60 до 120% номинального.

3. Небольшие отклонения напряжения синхронизировавшейся машины от напряжения сети и искажения кривой напряжения мало сказываются на работе синхронизатора.

4. Длительность синхронизации даже в аварийных условиях измеряется секундами, тогда как обычно для этого требуются минуты.

Б. И. Филипов

¹ Во всех формулах не учтено, что $\Delta\omega$ все время меняет знак. Прим. ред.

ИЗДАТЕЛЬ ОНТИ

Технический редактор А. П. Александрова

Зав. редакцией М. Г. Башкова

РЕДАКЦИЯ: В. И. Вейц, М. Н. Грановская, Я. А. Климовичи, Г. М. Кржижановский, И. С. Палицын, Н. А. Сазонов, М. А. Шатин, К. И. Шенфер, И. Г. Шипов.

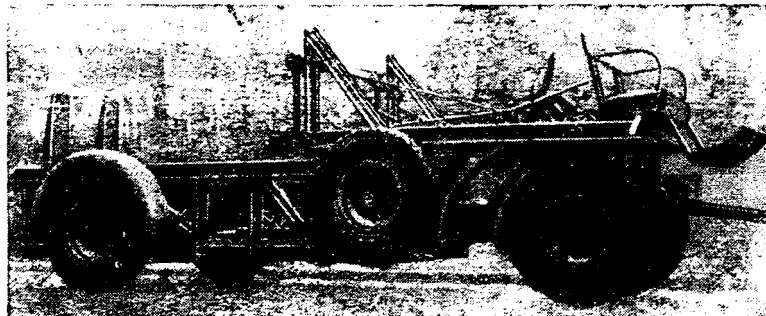
Ответ. редактор: Я. А. КЛИМОВИЧ

Сдано в набор 2/III 1937 г.

Подписано к печати 4/IV 1937 г.

Стат. формат 226×293 . Печ. листов 7 У. а. л.

Уполн. Главлита Б-8096. 1-я Журнальная тип. ОНТИ НКТП СССР. Москва, Денисовский пер., 30. Заказ. 448. Тираж 10.932



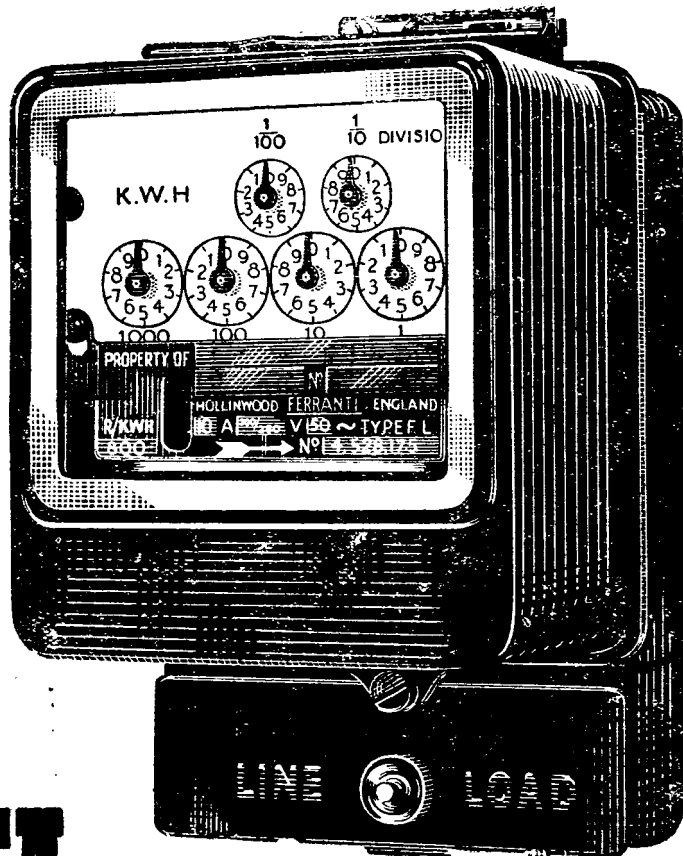
Тележка для перевозки и прокладки кабелей

Машины для прокладки подземных и воздушных кабелей, Лебедки для кабелей, установки для испытания кабелей, тяговые наконечники для кабелей, а также все принадлежности для кабельного производства.

Maschinenbau - Hafenhütte
PETER LANCIER
MÜNSTER i. Westf. / ГЕРМАНИЯ

БЕОЛЫШЕЕ РАЗМЕРЫ МАЛЫЙ ВЕС

Долговечность, исключительная надежность и точность — таковы характерные черты счетчика Ferranti, типа FL. Его красивый внешний вид и солидное выполнение являются результатом работы специалистов, под руководством которых протекают все стадии производства, начиная с выбора материала и кончая отделкой готового фабриката.



FM40a

СЧЕТЧИКИ FERRANTI

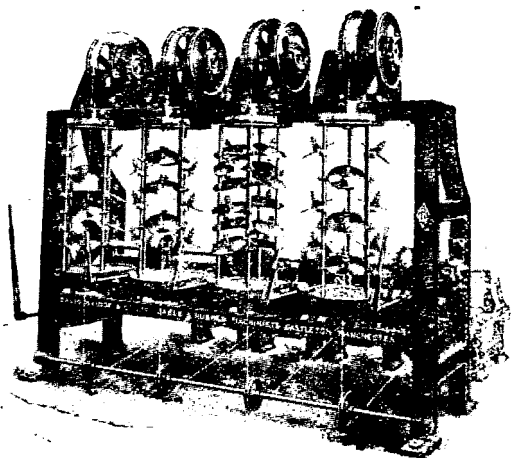
FERRANTI Ltd., Hollinwood, LANCS - Англия

МАШИНЫ БРИДЖА для КАБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА современны по проектированию, солидны по конструкции

● Полное оборудование для кабельных заводов

Фирма БРИДЖ строит машины для всех без исключения работ и производств в кабельной промышленности. Каждая машина воплощает ряд новейших улучшений, являющихся результатом непрерывных опытов и изысканий, и дает повышенную производительность и легкость в работе. На рисунке показана

12-ти катушечная машина для покрытия кабелей бумагой, с вертикальным 4-х барабанным ординарным станком.



Построена для одновременного покрытия 4-х проводников небольшого сечения. Каждый барабан вмещает 12 бумажных дисков. Каждое головное и подъемное колесо по отдельности приводится в действие посредством патентованных фрикционных муфт Heywood & Bridge

DAVID BRIDGE & Co Ltd.
ENGINEERS, IRON AND BRASS FOUNDERS
Castleton, Manchester

а также!
Aldwych House, ALDWYCH, LONDON W.C.2 (Англия)

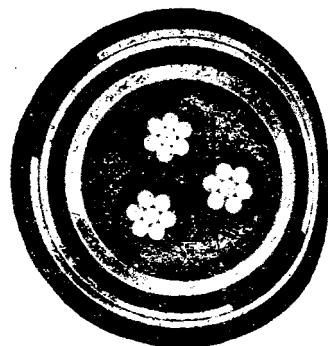


Для передачи
электрической энергии
любого напряжения
пользуйтесь

ПОДЗЕМНЫМИ КАБЕЛЯМИ

производства

**ATELIERS DE CONSTRUCTIONS
ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI**

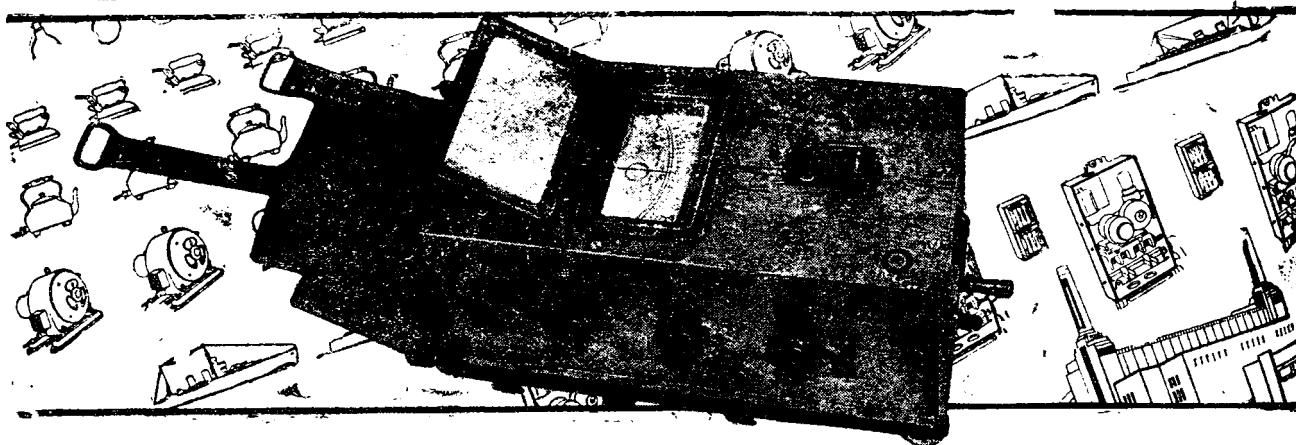


Cablerie
Кабельный Завод



Charleroi
Шарлеруа - Бельгия

ИЗБЕГАЙТЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ



путем проверки вашей инсталляции прибором
"MEGGER", служащим для испытания изоляции

За техническими справками обращайтесь непосредственно
к фирме, производящей указанный прибор, по адресу :

EVERSHED & VIGNOLES LTD

Acton Lane Work, Chiswick, LONDON, W.4. (Англия)

МАРКА "MEGGER" ОХРАНЕНА ЗАКОНОМ
Вологодская областная универсальная научная библиотека

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

ПЕЧАТАЮТСЯ НОВЫЕ КНИГИ

Известия Энергетического института. Том IV. Вып. 1. 15 печ. л. Ц. 10 руб. (ориентировочно).

Известия Энергетического института. Том IV. Вып. 2. 10 печ. л. 145 рис. Ц. 5 руб. (ориентировочно).

Проблемы автоматики и телемеханики. в народном хозяйстве СССР (Труды Первой Всесоюзной конференции по автоматике, телемеханике и диспетчеризации). 30 печ. л. 183 рис. Ц. в пер. 16 руб. (ориентировочно).

Энергетические ресурсы СССР на 1935 год. В 2-х томах. Под общей ред. акад. Г. М. Кржижановского. Общий объем около 100 печ. л. Ц. в пер. за 2 тома 40 руб. (ориентировочно).

Книги высылаются наложенным платежом

ЗАКАЗЫ НАПРАВЛЯТЬ: Москва 9. Проезд. Художествен. театра, 2 — Почтово-абонементному сектору
Издательства Академии Наук СССР.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 1937 год

НА ЖУРНАЛЫ

Вестник электропромышленности

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 24 руб.;
на 6 мес. — 12 руб.;
на 3 мес. — 6 руб.

Вестник кочегара

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 6 р. 60 к.;
на 6 мес. — 3 р. 30 к.;
на 3 мес. — 1 р. 65 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.

ДИЗЕЛЕСТРОЕНИЕ

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;
на 6 мес. — 9 руб.;
на 3 мес. — 4 р. 50 к.

МАШИНИСТ

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 6 руб.;
на 6 мес. — 3 руб.;
на 3 мес. — 1 р. 50 к.

Электрические станции

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 21 руб.;
на 6 мес. — 10 р. 50 к.;
на 3 мес. — 5 р. 25 к.

ЛЕНИНСКИЙ ДНЕПРОГЭС

(на Укр. яз.)

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 12 руб.;
на 6 мес. — 6 руб.;
на 3 мес. — 3 руб.

Бюллетень завода „Динамо“

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;
на 6 мес. — 9 руб.;
на 3 мес. — 4 р. 50 к.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

24 номера в год

Подписная цена: на год — 36 руб.;
на 6 мес. — 18 руб.;
на 3 мес. — 9 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 — 16 руб.;
на 6 мес. — 8 руб.

Известия электропромышленности слабого тока

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;
на 6 мес. — 9 руб.;
на 3 мес. — 4 р. 50 к.

СВЕТОТЕХНИКА

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 15 руб.;
на 6 мес. — 7 р. 50 к.;
на 3 мес. — 3 р. 75 к.

Советское котлотурбостроение

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;
на 6 мес. — 9 руб.;
на 3 мес. — 4 р. 50 к.

ТЕПЛО и СИЛА

18 номеров в год

Подписная цена: на год — 33 руб.;
на 6 мес. — 18 руб.;
на 3 мес. — 9 руб.

Энергетическое обозрение

выпуск электротехнический

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;
на 6 мес. — 9 руб.;
на 3 мес. — 4 р. 50 к.

Энергетическое обозрение

выпуск теплотехнический

12 номеров в год

Подписная цена: на год — 18 руб.;
на 6 мес. — 9 руб.;
на 3 мес. — 4 р. 50 к.

Подписку и деньги направлять по адресу: Москва 31, Пушечная 9, Главная к-ра „ТЕХПЕРИОДИКА“

Подписка также принимается: отделениями и уполномоченными „Техпериодики“, магазинами и киосками ОНТИ и всюду на почте.

Адреса отделений:

1. Ленинград, проспект 25 Октября, внутри Гостиного двора, пом. 100.
2. Киев, Горовица, 38, магазин № 1.
3. Харьков, ул. Свердлова, 46.
4. Горький, Октябрьская ул. 25, дом ИТР.
5. Свердловск, Дом промышленности, 4-й эт., 2-й блок, комн. 46.

6. Днепропетровск, проспект Карла Маркса, 84.
7. Ростов н/Д., ул. Энгельса, 73.
8. Новосибирск, Красный проспект, 17.
9. Сталино-Донбасс, 8-я линия, 28.
10. Тбилиси (Тифлис), проспект Плеханова, 88.
11. Одесса, ул. Ленина, 2.